

## 제3절 | 소블럭 제작

### 3.1 제작 개요

본 교량의 상부거더는 상, 하행선으로 분리된 각 방향 15.7m의 횡단폭원을 가진 Twin Box 1-Cell Type이다. 종단경사가 3%이며, 평면이 곡선(서측 R=3,250m, 동측 R=3,740m) 선형으로 구성되며 사장교와 만나는 일부직선구간에서는 편구배 변화구간도 존재한다.

#### 3.1.1 제작수량

##### > 세그먼트의 제작 물량

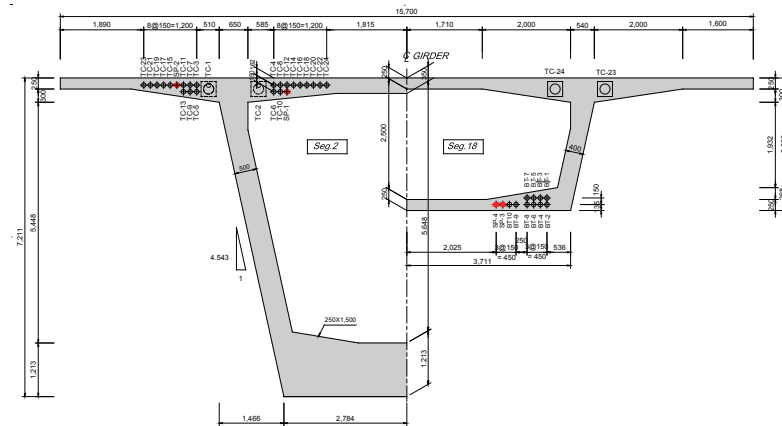
구 분		중 량(tonf/EA)	서측(EA)	동측(EA)	계
소블럭	Normal Segment 3M	120~142	168	168	336
	Normal Segment 4M	104~149	240	240	480
Key Segment (2.7 M)		70	10	10	20

#### 3.1.2 시공물량

##### > 세그먼트의 제작 물량

구분	콘크리트(M³)	철근(ton,용접용)	PC강선(tonf)	DUCT(m)	정착구(EA)
소블럭	43,200	8,650	49	114,000	중방향 : 3,312 횡방향 : 7,648

#### 3.1.3 횡단면도



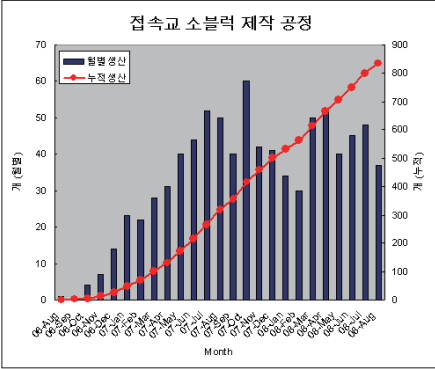
##### > Segment 표준 횡단면도

#### 3.1.4 제작 조건

본 교량의 상부거더는 상, 하행선으로 분리된 각 방향 15.7m의 횡단폭원을 가진 Single Cell Type이다. 종단경사가 3%이며, 평면이 곡선(서측 R=3,250m, 동측 R=3,740m) 선형으로 구성되며 사장교와 만나는 일부직선구간에서는 편구배 변화구간도 존재한다. 본 교량은 그림 3.1.1에서 보는 바와 같이 상부거더의 높이가 8.5m~3.0m로 변화하고 하부슬래브의 폭원도 5.0m~7.422m로 변하는 등 기하구조 자체가 3차원 형상으로 변화하는 아주 복잡한 형상을 가졌다. 이 때문에 미관은 수려하나 제작과 가설의 시공진행 측면에서는 까다로운 교량이다.



3.2 소블럭 제작 공정표



> 소블럭 제작 공정

3.3 투입 장비 및 인원

3.3.1 투입장비

NO	장비명	용도	규격	단위	수량	사진
1	Tower Crane	철근망, 바닥폴, Floating Bulkhead 인양	32ton	대	2	
2	Cargo Crane	자재 운반 및 폼세팅	15ton	대	1	
			13ton		1	
3	YCWA Series Jack	05-12.7 인장	0.5" (YDC-240Q)	대	1	
4	YCWA Series Pump	05-12.7 인장	0.5"	대	1	
5	Gantry Crane	Seg 인양 및 자재 인양	150 ton	대	1	
			50 ton		1	
			10 ton		1	

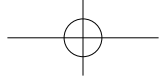


NO	장비명	용도	규격	단위	수량	사진
6	그라우팅 믹서 및 펌프	그라우팅		대	1	
7	펌프카	콘크리트 타설	32m	대	1	
8	지게차	자재 운반	11ton	대	1	
9	Water Jet	폼청소		대	1	
10	광파기, 레벨	측량		set	1	

3.3.2 투입인원

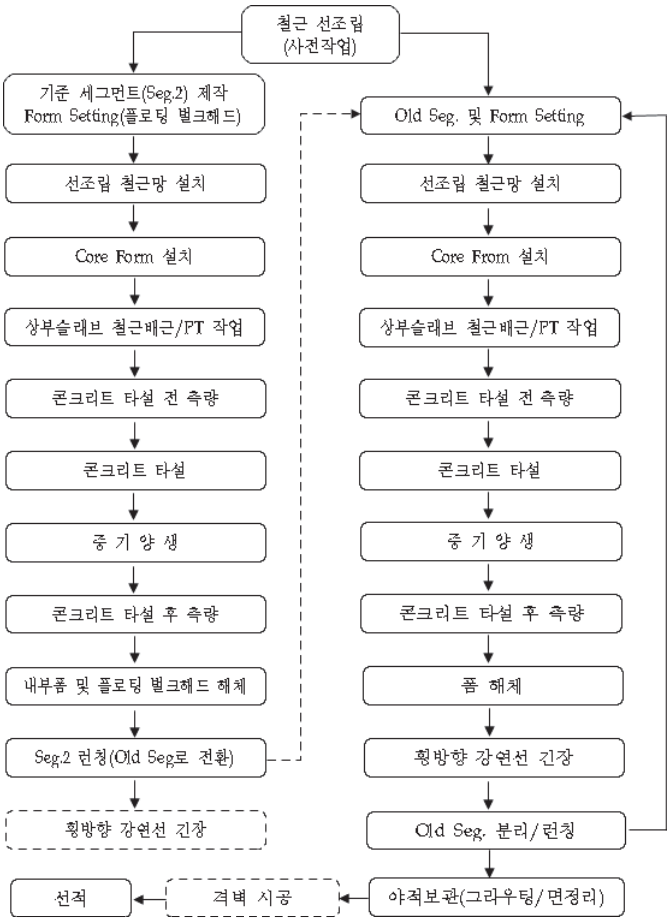
접속교 소블럭 제작의 경우 작업인원 투입을 공정에 따라서 크게 3단계에 걸쳐서 조정하였다.

- 가. 초기 공정의 경우 몰드팀은 총 4팀(주간 3팀, 철야 1팀), 철근팀은 총3팀(주간 3팀), PT팀은 총2팀(주간 2팀), 타설은 1팀, 면정리 1팀으로 이루어졌다. 이중 몰드 철야 1팀을 제외한 나머지 팀들은 기본적으로 주간 작업을 진행하였으며 공정 진행상황에 따라서 야간 연장 작업이나 철야 작업을 하였다.
- 나. 하지만 공정이 60%이상 진행된 상황에서는 몰드팀, 철근팀 그리고 PT팀이 각각 3팀(철야1팀포함), 2팀 그리고 1팀으로 축소되었다. 그리고 추가적인 야간작업은 진행하지 않는 것을 원칙으로 작업이 진행되었다.



3.4 제작방법

3.4.1 제작순서



3.4.2 제작 공정별 사이클

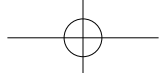
1) 초기 제작 예정 공정별 사이클

시공에 들어가기 전 예상하였던 제작 공정별 사이클은 다음과 같다. 하지만 실제 제작시에는 공정별 작업시간이 다소 증가하여 야간 및 철야 몰드 작업이 이루어졌다.

> 제작공정별 예정 사이클 타임

공 종	시간	1일차							2일차							비고
		7	9	11	13	15	17	18	7	9	11	13	15	17	19	
· 철근망 조립작업	사전작업															
· 양생막 절거	2															
· Old Seg. 탈형/이동	4															
· Old Seg. Setting	2															
· New Seg. Setting	2															
· 철근망 인양/설치	2															
· PT Work (정착구 설치)	3															
· 타설전 Mould 확인측량	2															
· 콘크리트 타설	4															
· 양생	12															12시간





### 3.4.3 소블럭 제작장 구성

#### 1) 제작 몰드

소블럭 제작몰드는 총 6 sets가 사용되었다. 2 sets는 3m Seg. 제작용으로 4sets는 4m Seg. 제작용으로 설계 제작되었다. 몰드는 크게 fixed bulkhead, side form, core form, bottom form, 그리고 manipulator로 구성되어 있다.



Fixed Bulkhead 및 Side form

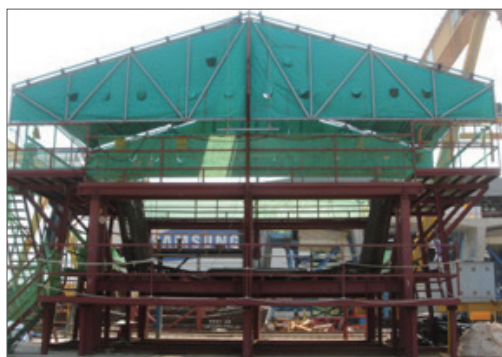


Core form

#### > 몰드 각부재의 구성

#### 2) 철근 조립 JIG대

철근 선조립용 JIG는 총 8sets가 사용되었다. 총 8sets를 3m Seg. 철근 선조립 2sets 와 4m Seg. 철근 선조립 6sets로 운용하였다. 거더단면이 변단면이므로 각 Seg.별로 철근의 높이가 달라지기 때문에, 그림3.4.3처럼 체인 호이스트를 이용하여 JIG의 바닥판의 레벨을 조정하여 철근 조립을 원활하게 진행할 수 있도록 고안하였다.



철근 선조립 JIG

#### > 철근 선조립 지그대



철근 선조립 JIG 내측

#### 3) 야적장



#### > 소블럭 야적장

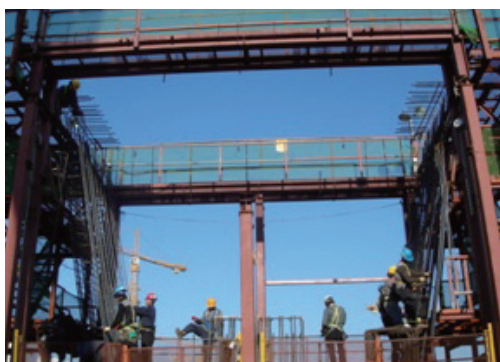
생산된 소블럭은 야적장으로 옮겨 가설 대기기간 동안 보관된다. 야적장은 4500m<sup>2</sup>(150m×30m)의 공간에 콘크리트 패드 8곳으로 구성하여, 최대 45개 세그먼트들을 야적 보관할 수 있도록 하였다. 야적장에서는 2차 작업들이 이루어 지는데, 몰드에서 일체화 제작하기 곤란한 격벽의 시공이 이루어지며, 횡방향 텐던의 그라우팅, 스위관 주변 정리 및 외부면 정리 등 2차 마무리 작업들이 이루어 진다.



### 3.5 세부 제작 공정

#### 3.5.1 철근 선조립

몰드 세팅에서부터 콘크리트 양생 종료 후 세그먼트 이동 완료까지의 시간, 즉 총 제작 시간을 최대한 단축시키기 위하여 소블럭 제작에 필요한 철근들을 선조립하였다. 이 경우 물론, 철근 조립을 위하여 추가적인 작업인원이 소요되지만, 先공정인 철근조립에 투입되는 작업시간은 제작 사이클 타임에 영향을 끼치지 않게 되므로 그만큼 전체 공정을 줄일 수 있게 된다.



철근 선조립 지그대

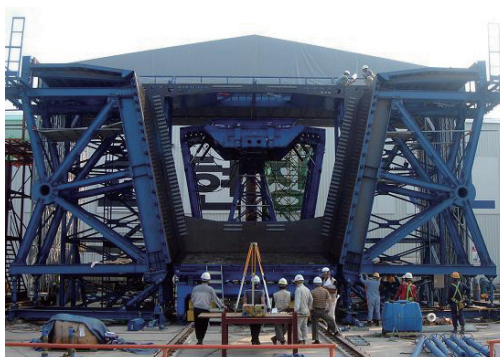


Buttress 철근 선조립

#### > 철근 선조립 작업 전경

#### 3.5.2 기준 세그먼트 폼 셋팅 (Seg. 2)

첫 번째로 제작되는 Seg. 2번은 모든 소블럭들의 기준 세그먼트로서 대블럭과 접하는 면은 150mm의 간격을 둔 CIP JOINT 구간을 두어 현장 타설로 접합되며, 반대측은 Seg.3번과 매치캐스팅 되는 면이다. 따라서 이 소블럭 제작은 매치캐스팅 상태로 제작되지 않는 유일한 부재이므로 대블럭의 형상 및 선형과 일치성을 확보하기 위하여는 하부 폼 설치단계에서부터 정밀하게 세팅을 해 두어야 한다.



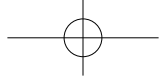
#### > 기준 세그먼트(Seg.2) 셋팅 측량

#### 3.5.3 Old Segment 세팅

Short Line 방식에서는, 거푸집 몰드와 Old seg의 매치캐스팅에 따라 기하형상이 결정된다. 그러므로 각 Seg.들의 타설 전, 후에 실시하는 측량을 통해 제작 형상관리가 이루어진다.

따라서 폼세팅을 마무리하기 전에 실시하는 Old Seg.의 정위치 세팅을 매우 엄격하게 관리하게 된다. 작업 방법은 그림과 같이 이동식 작업대차를 이용하여 Old Seg. 세팅을 실시한다. Old Seg. 세팅이 마무리 되면 바닥폼의 유압 실린더를 이용하여 바닥폼의 높이를 Old Seg. 하부면에 맞추고 아래과 같이 Old Seg.와 바닥폼을 서로 고정한다. 마찬가지로 Fixed bulkhead와 바닥폼을 서로 고정시켜서 상대 변위가 발생하지 않도록 한다. 이어서, 열려있던 사이드폼을 닫아서 몰드와 Old Seg.가 폐합되게 한다.





> Old Seg 세팅

#### 3.5.4 Rebar Cage 인양 및 설치

몰드 셋팅이 완료되면 지그대에서 선조립한 철근망에 대해 감리원의 검측을 득한 후 리프팅 프레임을 체결하여 타워크레인으로 인양한다. 이때, 철근망은 잠시 지상 바닥에 내려 지그대의 부재 간섭으로 인해 미진했던 일부 철근의 조립작업을 마무리한 후 몰드 내부에 근입한다. 이 작업과정에서는 실선을 이용하여 몰드와 철근망의 중심선을 맞추고, 조립된 철근망의 크기와 피복두께 확보 등 이상 유무를 확인한 다음 리프팅 프레임을 해체한다.



철근망 인양



정위치 셋팅

#### > 철근망 설치

철근망이 몰드내부에 설치되면, 하부텐던 스위스관을 벌크헤드 및 Old seg,와 연결하는 작업을 실시하였다. 스위스관 배치는 Old Seg로부터 40cm 길이의 덕트 커플러를 통해 연결하여 Fixed bulkhead에 고정시킨다.

#### 3.5.5 Core form 세팅



> Core form 세팅

전술한 준비 작업이 마무리 된 후 몰드 후면에 위치해 둔 코아폼을 몰드 내부로 진입시켜 Old Seg, 상부슬래브 하면에 맞추고 약간 벌려 놓았던 좌우측 사이드 폼을 완전히 붙여서 폐합이 되도록 한다.

#### 3.5.6 상부슬래브 철근배근 및 PT 작업

코아폼 세팅 작업이 마무리 되면 아래 그림과 같이 상부슬래브 철근배근과 PT 작업을 동시에 진행한다. 스위스관 배치는 Old Seg로부터 40cm 길이의 덕트 커플러를 통해 연결하여 Fixed bulkhead에 고정시킨다. 이때, 시공상세도에 의거해 해당 세그먼트에 적용되는 텐던 프로파일을 확보하며, 특히 정착구는 미리 준비한 block out 박스 거푸집을



사용하여 Fixed bulkhead에 고정시킨 후 정착구 주변을 폐합철근으로 보강해 둔다. 횡방향 텐던은 덕트 배치와 동시에 강연선(12.7mm-5가닥)을 미리 삽입해 두며, 증기 양생중에 습기가 들어가지 않도록 노출부위를 덕트와 실링을 통해서 완전히 밀봉시켜 둔다.



철근배근 및 PT 작업



종방향 텐던 정착구 폼 설치

#### > 상부슬래브 철근조립 및 PT 작업

그리고 모든 쉬스관들은 후속 작업과정에서 이탈되지 않도록 U형 고정철근(D13mm)을 이용하여 50cm 간격으로 고정시키며, 종방향 쉬스관 내부에는 콘크리트 타설시 변형되거나 이탈되는 것을 방지하기 위하여 강관 파이프나 PVC 파이프(곡선텐던)를 삽입해 둔다. 또한, 데릭크레인 인양 홀 형성을 위한 덕트나 해상 가설시 하부텐던 강연선 삽입을 위한 덕트, 진동방지공 설치를 위한 엠베드 등 각종 매입물 들을 정위치에 설치하고, 가로등 기초용 커플러, 배수구 보강철근 등을 배근한다. 모든 상부슬래브 철근배근과 PT 작업들이 완료되면 사이드 폼 상부와 Old Seg.를 상호 고정하기 위하여 종/횡방향 강봉을 체결한다. 마지막으로 몰드 내, 외부를 깨끗이 청소하고, 방호벽과 중분대용 철근은 방청처리 작업을 해 둔다.

#### 3.5.7 타설 전 측량 검측

콘크리트 타설 직전에 기 셋팅된 몰드에 대하여 매치캐스팅 상태를 재확인하는 과정으로 “타설전 측량”을 실시한다. 이 단계의 측량은 협력사 전담측량팀과 시공사의 검측측량팀이 상호 교차 측량을 통해 레벨값과 Off set 값을 확인하여 타설전 캐스팅 데이터를 작성하며, 최종적으로 담당감리원이 이 성과데이터와 매치캐스팅 상태에 대해 재확인하는 3단계의 확인 측량과정을 거친다. 이 과정을 통해 실측값이 제작 목표값과 차이가 클 경우에는 몰드 세팅작업을 다시 수행하거나 미세조정 작업을 거쳐 목표값에 도달하도록 한다.

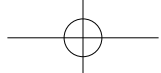


타설전 측량



철근배근 및 PT 검측

#### > 타설전 측량 검측



> 콘크리트 타설

### 3.5.8 콘크리트 타설

몰드에 대한 검측이 완료되면 레미콘 생산에 들어간다. 생산된 콘크리트는 각종 품질시험을 거쳐 레미콘 차로 운반한 후 펌프카를 이용하여 타설한다. 콘크리트 타설은 양쪽 헌치 부위를 먼저 타설하고 하부슬래브 중앙부를 채우며, Web 양측을 좌우 균형을 유지하면서 밀실하게 채운 후 상부슬래브를 타설하는 순으로 진행한다.

### 3.5.9 증기 양생

타설이 종료된 후 카고 크레인을 이용하여 양생 천막을 닫고 증기양생을 실시한다. 증기양생은 기본적으로 17시간 동안 진행하지만, 동절기와 같이 양생환경이 급변할 경우에는 그 상황에 맞게 양생 시간을 18~19시간으로 더 늘리는 식으로 탄력적으로 조절하였다.

### 3.5.10 타설 후 측량

콘크리트 양생이 종료되면 거꾸집 폼을 해체하기 전에 “타설후 측량”을 실시한다. 이 “타설 후 측량”은 타설 전 측량 성과 데이터와 비교하면서 매우 정교하게 수행한다. 이 단계는 목표한대로 세그먼트가 제작되었는지 여부를 확인하고, 만약 소정의 오차가 발생되었다면 발생된 오차를 있는 그대로 기록하여야 하는 매우 중요한 단계이다. 이는 다음 Seg. 제작시에 해당 오차를 반영하여 보정을 할 수 있도록 정확한 제작현황을 확인하는 것을 목적으로 한다. 이 검측측량이 완료되지 않으면 폼 해체작업을 실시할 수 없도록 엄격히 관리하였다.

### 3.5.11 폼 해체

폼 해체작업은 상부 및 하부에 설치한 강봉들을 모두 해체하는 것으로부터 시작하며, 사이드 폼을 좌우로 벌려서 New Seg.의 벽체를 풀어주고 core form의 측면폼과 buttress form을 분리한다. 이어 core form을 뒤로 후진시켜서 폼 해체 작업을 마무리 한다.

### 3.5.12 횡방향 강연선 긴장

폼 해체가 완료된 후 현장 타설시 만들어 두었던 콘크리트 공시체의 강도가 설계기준강도의 70%(31.5MPa) 이상 발현되면 횡방향 강연선을 긴장한다. 긴장 순서는 내측에서 외측으로 실시하되, 양측을 번갈아 긴장한다. 신장량은 강연선 한가닥 당 137.7 kN의 프리스트레스 힘으로 긴장하면 이론적으로 107mm의 늘임량을 보이게 되므로, 긴장관리는 설계값 대비 100±5%의 범위 내에서 관리를 하며, 5MPa 단위로 신장량을 기록하여 26.5 MPa 까지 압력을 도입한다.



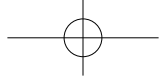
횡방향 강연선 인장



정착구 무수축 몰탈 타설

> 횡방향 강선 인장 및 정착구 무수축 마감





### 3.5.13 Segment 분리 및 야적



> 세그먼트 분리

#### 1) 분리작업

먼저, 야적장으로 이동될 Old Seg.에 150Ton Gantry Crane에 장착된 운반용 프레임을 체결한다. 그리고 상하부 슬래브에서 동시에 수동식 유압잭을 사용해서 Old Seg.와 New Seg.가 완전히 분리되면 Old Seg.를 인양하여 야적장으로 운반한다.

#### 2) 야적장 이동



> 접속교 소블럭 야적장

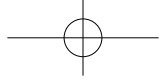
세그먼트 야적시에는, 야적기간 동안 세그먼트의 비틀림(Warping) 변형을 방지하기 위해 3점 지지로 하여 침목으로 받쳐 두었다. 이때, 하부슬래브의 경사도가 가장 급한 Seg. 2번에 대하여 슬라이딩에 대한 구조검토를 실시하여 안전성(안전률 3.72)을 확인하였으며, 추가적으로 시각적인 안정성을 확보하기 위하여 높이가 비교적 높은 3m Seg.들에 한하여 양쪽 캔틸레버 단부를 와이어로프 등으로 지면과 고정되도록 하였다.

### 3.5.14 Grouting(그라우팅) 및 MCI 주입

야적장으로 이동된 세그먼트들은 횡방향 텐던의 부식방지를 위하여 덕트 내부를 그라우트로 밀실하게 충전한다. 이를 위해 시멘트와 팽창제, 그리고 물을 배합비 대로 교반하여 그라우트 밀크를 만든 뒤 유하시험을 거쳐 주입한다. (유하시간 : 6초~12초) 이에 앞서, 에어컴프레셔를 이용하여 덕트 내부의 이물질이나 습기를 제거한 후, 유출구에는 비닐 튜브를 설치해둔다. 이는 그라우트 유출시 오염을 방지하고 폐기물을 효과적으로 처리하기 위함이다. 그라우트 주입 작업은 무전교신에 의해 조절되며 유출구에서 최소 11초 이상 불량 밀크를 배출한 다음 주입을 중단하고 호스를 꺾어 밀봉한다.(폐쇄되는 압력 0.7MPa 이상 확보)

### 3.5.15 면정리

생산된 Seg.들은 Match Cast 공법이 적용되기 때문에 접합면과 덕트 주변을 정리할 필요가 있다. 또한, 외부면에 박리제와 함께 묻어있는 이물질들과 폼으로 인한 단차 등을 sanding 작업을 통해서 깨끗이 정리한다. 이러한 작업중에 표면이나 모서리 등에 불량 부위가 발견되면 모두 보수 조치한다. 그리고 세그먼트별 고유번호를 마킹해 두어 가설시 혼동되지 않도록 한다.



### 3.5.16 H-prop용 격벽

마지막 세그먼트인 Seg.18번은 격벽이 분리 시공된다. 이 격벽은 키세그먼트 시공시 선보정 수평력의 도입이나 온도변위를 제어하기 위해 설치하는 수평버팀대(H-prop Beam)의 반력대 역할을 한다. 이 격벽은 몰드 구조상 본체와 일체로 타설할 수 없기 때문에 야적장에서 2차 타설된다. 이를 위해 몰드 제작시 미리 커플러를 매입해 두었으며, 야적장 이동후 커플러가 들어나도록 접합면을 치핑하고 철근을 연결 배근한다. 철근 배근이 완료되면 거푸집을 설치하고 펌프카를 이용하여 콘크리트를 타설한다.



> H-prop용 격벽 시공

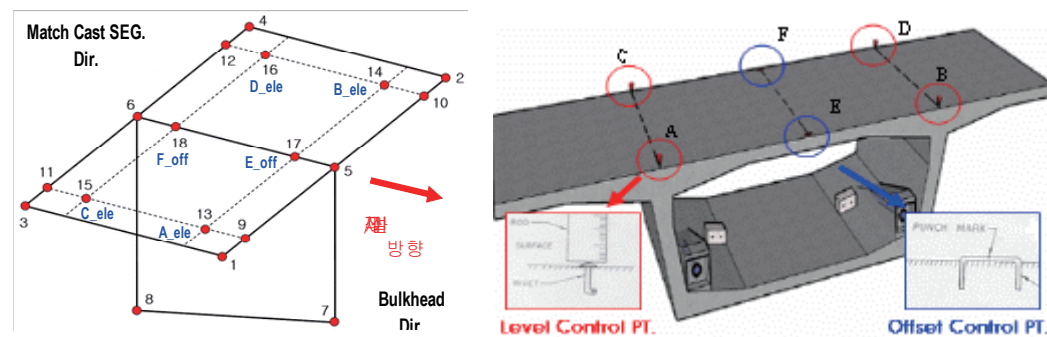
## 3.6 형상관리를 위한 측량

### 3.6.1 개요

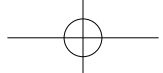
세그먼트를 Short Line match cast 방식으로 제작할 경우에는, 제작장에서 Local 좌표로 측정된 제작성과를 통해 현장 가설조건, 즉 Global한 상태로의 제 위치를 파악할 수 있는 가상가설(Virtual Erection)좌표가 필요하게 된다. 또한, 제작 오차는 다음 세그먼트 제작 시 이 오차를 자동으로 반영하여 본래의 선형으로 복귀하도록 하는 정확한 목표 값을 찾아야 한다. 이 같은 목적을 위해 인천대교 현장에서는 자체 개발한 “GCPS”라는 제작선형 프로그램을 사용한다.

### 3.6.2 GCPS 프로그램의 운용과 측량 관리

각 세그먼트별 단면 중앙절점의 제작선형이 결정되면 설계 횡구배와 조합하여 세그먼트의 Global 좌표를 결정한다. Normal seg. 1개는 다음 그림과 같이 총 18개의 SDP(Segment Data Point)로 구성된다. 세그먼트의 형상을 대표할 수 있는 Control Point를 선정하고, 최소한의 측량만으로 정확한 Geometry Control이 가능토록 하는 것이 필요하다. 이를 위하여 Short Line 제작 방식에서는 “Fixed Bulk Head면은 New Segment의 진행방향에 대하여 항상 수직이다.”라는 가정을 기본전제로 한다. 이 가정이 유효할 경우 Seg.당 Control Point는 6개로 줄일 수 있으며, New Segment는 추가적으로 Length가 필요하다. 이로써 프로그램에 반영될 측점은 아래 그림과 같이 6점을 기본으로 단순화 하는데, 중앙의 E,F는 Center 선형의 Offset Control Point이며, 복부위에 설치된 4개의 볼트점 A, B, C, D는 Level Control Point이다.



> 세그먼트 모델링(SDP 위치) 및 Control Point 위치



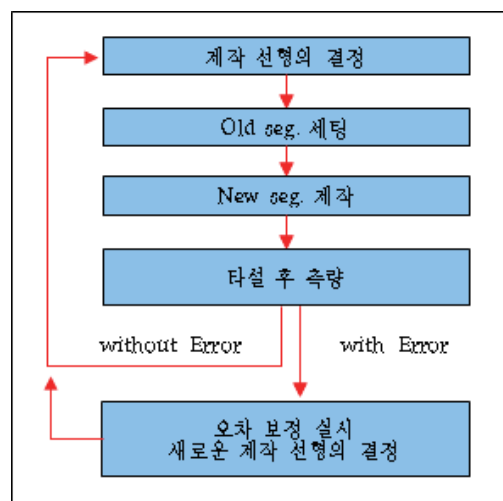
> 제작 Mould와 측량대

볼트점을 캔틸레버 단부나 중앙부에 둘 경우 사하중이나 횡방향 프리스트레싱에 의해 일정량의 처짐이 발생할 수 있어 측량값이 변화될 수 있으므로, 변형의 영향이 작은 복부 위를 Level 측점으로 선정한다. 각 측점들은 단부에서 5cm 떨어진 곳에 위치하며, 콘크리트 타설 직후 지정된 위치에 매설된다. 또한, 평면 선형관리를 위해 ㄷ형 철판으로 매입시킨 Offset Control Point에 편칭을 통하여 세그먼트의 중심선 위치를 조정한다. 이때 편칭 작업시 Offset값의 부호규약(방향)에 착오를 일으키지 않도록 각별히 주의를 기울여야 한다.

### 3.6.3 제작 형상관리 방법

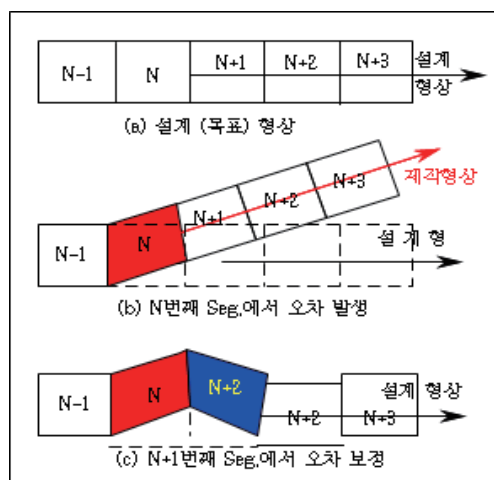
#### 1) 시공 Flow

Shot Line 방식으로 제작되는 Seg.의 제작형상 관리 흐름은 그림 3.6.3과 같이 이루어진다.



> 그림 3.6.3 제작 형상 관리 flow

#### 2) 제작오차 보정



> 그림 3.6.4 제작 오차 보정개념도

제작 오차가 발생하면, 그림 3.6.4와 같은 개념으로 오차가 보정된다. 예를 들어 N번째 Seg. 제작시 오차가 발생하였을 때 아무런 조치 없이 제작을 진행하게 되면, 그림 3.6.4-(b)와 같이 실제 제작형상의 오차가 누적되어, 오차관리 범위를 벗어나게 된다.

따라서, 그림 3.6.4-(c)와 같이 오차가 발생한 바로 다음 N+1, N+2 번째 Seg. 제작시 오차를 보정하여 제작을 진행하여 N+3 Seg. 부터는 원래의 설계형상을 유지할 수 있게 한다.





### 3.6.4 단계별 측량방법

#### 1) 기준 세그먼트(Seg.2) 셋팅 측량

대블럭과 접하는 Seg.2번은 첫 번째로 제작되는 소블럭으로서 캔틸레버 가설단계의 기준 세그먼트이다. 그러므로 매치캐스팅 과정이 없이 단일 제작되므로 Old seg. 대신에 Flating Bulk head에 의해 형상이 결정된다.

#### 2) Old seg. 셋팅 측량

Seg.2번이 제작된 후 Old seg 위치로 이동된 후 다음 세그먼트 제작을 위한 매치캐스팅 작업단계의 측량점과 관측점을 정의하여 측량 세팅한다.

### 3.6.5 제작성과 관리

제작된 성과는 다음 세그먼트 제작에 반영되므로 특히 콘크리트 양생후에 측량한 As Built 측량 data의 관리가 가장 중요하다. 제작성과를 기록한 검측서류에는 측량야장과 함께 Level, Distance, Twisting, Offset 결과가 기록되며, 또한 이를 토대로 제작 형상관리자가 GCPS 프로그램 구동에 의해 Global 좌표로 환산하여 도식화한 <제작캠버 & 비틀림 관리도>와 <평면선형 관리도>가 감리단으로 제출되었다. 이 제작 성과물들은 다시 감리단의 좌표계 검증을 통해 재확인되었다. 감리단에서는 GCPS 프로그램을 제공받아 사용하되, 측량야장만으로 Input Data를 개별적으로 입력하여 Result를 생성한 후 제출된 제작성과와 다시 대조하는 방법으로 검증하였다. 이 과정을 통해 다음 제작에 반영될 셋팅 목표값을 파악할 수 있었고, 이 정보는 다시 제작 몰드에 대한 감리원의 검측업무에 활용되었다.

## 제4장 | 상부공 가설

### 4.1 가설개요

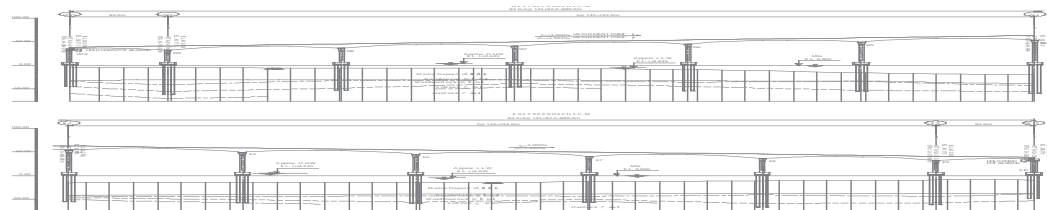
#### 4.1.1 시공제원

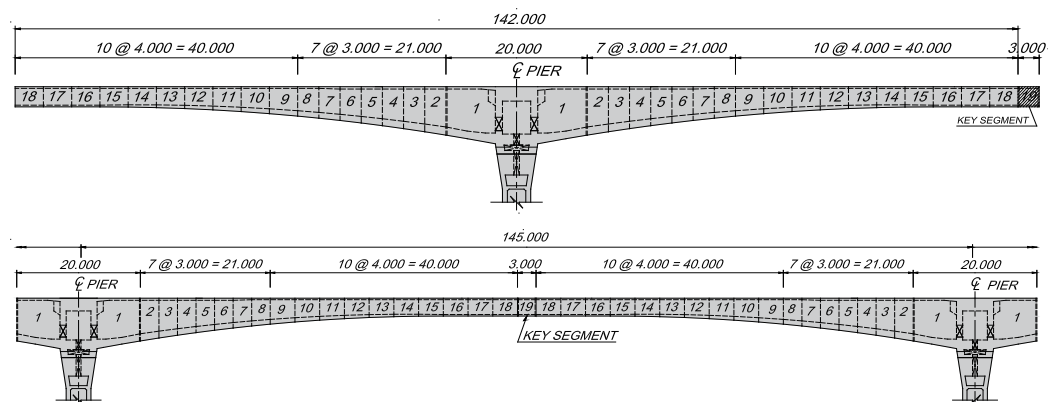
접속교는 사장교와 고가교를 연결하는 곡선 선형 구간이다. 접속교의 상부공은 상·하부 강결 형식의 Precast FCM 공법으로 시공되었다.

#### > 접속교 상부공 개요

교량 형식	PSC Box Girder
교량 공법	Precast FCM
교량 연장	3,556 m ( 898 m * 4 Line )
교량 폭원	상·하행선 각 15.7m
구 배	중구배 3 %, 편구배 2 %

#### 4.1.2 종단면도

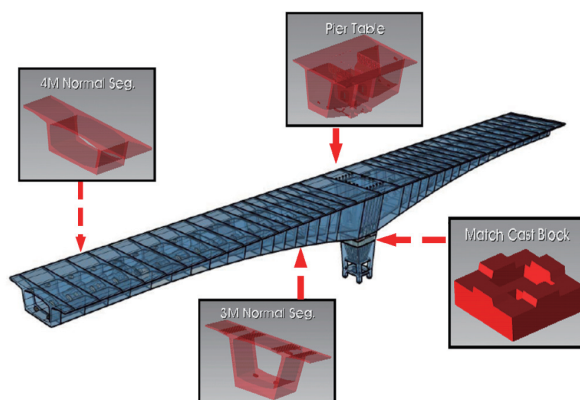




> 접속교 종단면도(상: 서측접속교, 하: 동측접속교)

#### 4.1.3 상부공 시공 수량

접속교 상부는 크게 MCB와 주두부, 소블럭, 키세그, 엔드세그로 구성되어 있으며, 접속교 상부 구성 현황과 시공 수량은 아래의 표와 같다.



> 상부구조 구성 현황

> 표 4.1.2 상부공 주요부재 가설 수량

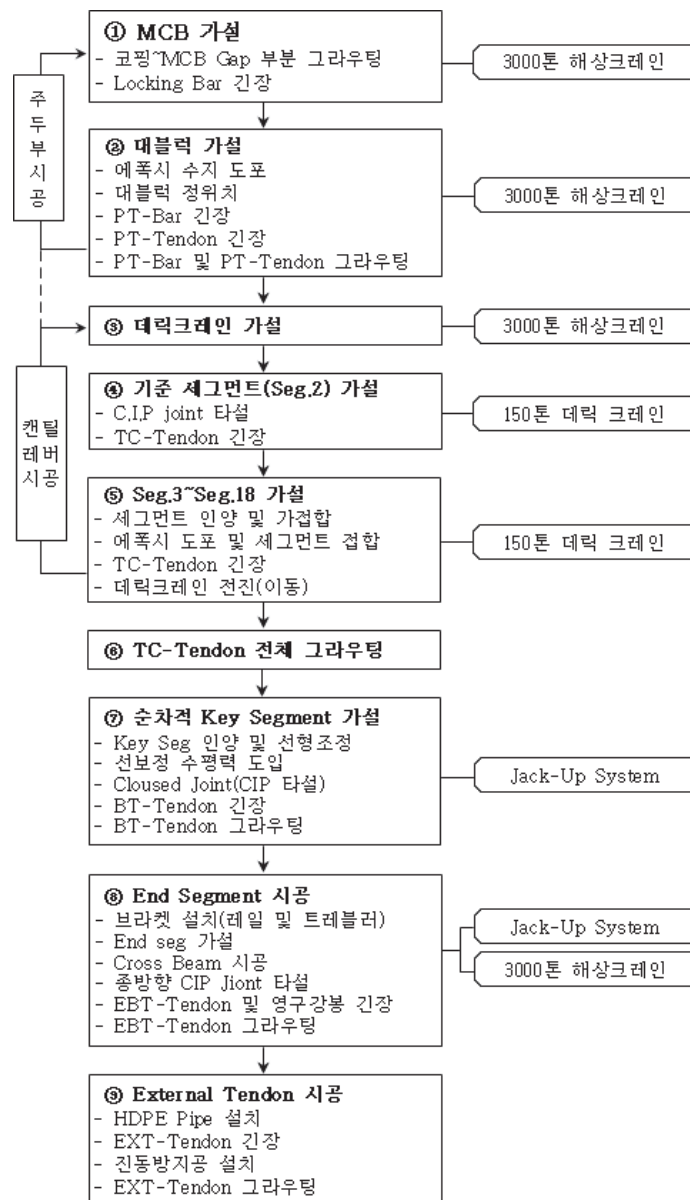
공종	서측	동측	소계
MCB	12 EA	12 EA	24 EA
주두부	12 EA	12 EA	24 EA
소블럭	408 EA	408 EA	816 EA
키세그	10 EA	10 EA	20 EA
엔드세그	4 EA	4 EA	8 EA

> 표 4.1.3 주요부재의 규격

공종	길이(M)	높이(M)	폭(M)	중량(Tonf)
MCB	6.0	1.5	5.0	67
주두부	19.7	9.0	15.7	1,400
소블럭	3.0	4.4 ~ 7.2	15.7	120 ~ 140
	4.0	3.0 ~ 4.4	15.7	104 ~ 149
키세그	2.7	3.0	15.7	68
엔드세그	10.85	3.0	15.7	450



#### 4.1.4 상부시공 FLOW



#### > 상부공 전체 시공 Flow

### 4.2 상부 가설 공정

#### 4.2.1 예정 공정표

##### > Baseline 공정표

공 종	'06년		'07년				'08년				'09년	
	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	
대 블 락			시공				시공					
소 블 락			시공				시공					
키 세 그			시공				시공					
엔드세그					시공				시공			
E X T						시공					시공	



4.2.2 시공 공정표

> 실시공 공정표

공 종	'06년		'07년				'08년				'09년
	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	
대 블 러			서측				동측				
소 블 러			서측				동측				
키 세 그					서측		동측				
엠프세그							서측		동측		
E X T								서측		동측	

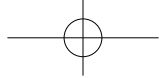
4.3 주요 가시설 및 자재 투입 현황

> 투입 가시설 목록

소블럭 이동대차	소블럭 선적용	1 대
대블럭 L/Device	대블럭 인양용	1 조
소블럭 L/Device	소블럭 인양용	2 EA
M.C.B. L/Device	M.C.B. 인양용	1 EA
M.C.B. G/Frame	M.C.B. 가설용	2 조
Jack-Up System	키세그/브라켓 인양용	1 조
고박장치	대블럭 선적용	1 조
	소블럭 선적용	2 조

> 투입 자재 목록 (제작/가설)

자 재 명	규 격	수 량
콘크리트	45MPa	57,916 m³
철 근	-	13,234 톤
강연선	0.6"	4,036 톤
	0.5"	341 톤
영구 강봉	Φ40	43 톤
	Φ30	4 톤
가설 강봉	Φ40	17 톤
	Φ36	243 톤
강연선 정착구	0.5"-5	9,088 EA
	0.6"-19	3,200 EA
	0.6"-37	1,520 EA
영구 강봉 정착구	Φ40	1,344 EA
	Φ36	128 EA
그라우팅	Φ80	4,143 m
	Φ100	124,736 m
	Φ140	29,928 m
	Flat(19*5)	80,429 m
	총물량(체적)	1,567 m³
인양 와이어	Φ112mm, L=16m	8 본
사클	125 톤	16 EA
EXT HDPE Pipe	Φ140mm	19,872 m
H-Beam 외	EXT 진동방지공 설치용	106 톤

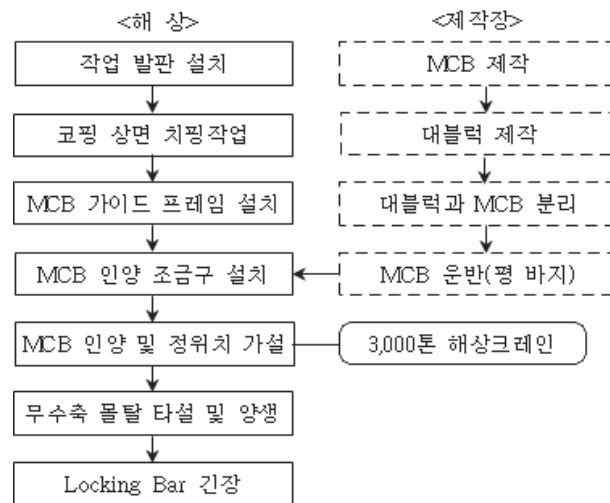


## 4.4 MCB 가설

### 4.4.1 시공개요

주두부(Pier Table) 시공은 길이 20m, 최대 높이 8.5m, 중량 1,400톤으로 제작된 고중량의 대블럭을 해상 고교각 여건하에서 가설하여야 하므로 정위치 거치의 어려움이 존재한다. 이 문제를 해결하고자 상대적으로 중량이 가벼워 제어가 수월한 MCB라는 소형 Block을 이용하는 Match Casting 공법을 적용하였음을 앞장에서 설명한 바 있다. 대블럭과 매치캐스팅 방식으로 일체화 제작된 이 MCB 부재는, 대블럭 제작후 분리하여 해상으로 운반한 후 코핑 상부면에 정위치 시킨다. 이어 이 MCB 위에 대블럭을 거치한 후 연직 강봉과 강연선을 긴장함으로써 주두부의 시공이 완료된다.

#### 1) MCB 시공 Flow



### 4.4.2 준비작업

#### 1) 작업 발판 설치

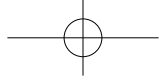
교각 코핑부에 MCB와 대블럭 가설시의 작업공간을 확보하기 위해 작업발판을 설치하였다. 작업발판은 코핑부 주변의 작업 발판부, Pier간 이동을 위한 이동 통로부, 그리고 대블럭 상부로 이동하기 위한 브라켓부로 구성된다.



#### > 작업 발판 설치 전경

#### 2) 코핑 상면 치핑작업

코핑과 MCB의 연결부에는 고교각인 하부구조의 시공오차 조절을 위해 50mm의 Gap을 두었으며, 이 공간은 MCB의 정위치 가설 후에 무수축 몰탈의 타설을 통해 밀실하게 채우게 된다. 코핑 상부면은 먼저 친 콘크리트와 무수축 몰탈 채움재의 부착을 원활히 하기 위해 핸드 브레이카를 이용하여 치핑하였다.



### 3) MCB Guide Frame 설치

구조물을 안전하게 정위치로 유도하기 위해서는 가이드 프레임의 설치가 필수적으로 요구된다. 가이드 프레임은 H형강 부재로 구성되어 조립 및 해체가 용이하도록 고안하였으며, 최상부는 깔때기 모양의 뾰족한 형상으로 계획하였다. 이를 통하여 MCB 중심부에 open된 직사각형의 Access hole(1.5×0.8m)이 가이드 프레임을 따라서 부드럽게 유도되어 통과할 수 있도록 하였다.



> MCB Guide Frame 설치 전경

## 4.4.3 세부 시공 내용

### 1) MCB 인양 조급구 설치

대블럭에서 분리한 MCB는 중량(65 톤)이 상대적으로 가벼우므로 평바지선에 선적하여 해상 가설위치로 운반하였다.



### 2) MCB 인양 및 정위치 가설

MCB 가설을 위하여 3000톤 해상 크레인을 교각 전면에 진입시키고 앵커링(닻)을 통해 묘박(Mooring)한다.

> 3000톤 해상크레인의 MCB 가설 전경

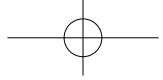
바지선에 선적된 MCB에 리프팅 디바이스 체결이 완료되면, 3000톤 해상크레인에 의해 공중으로 양중되어 가이드 프레임 상단 위치에 머물게 되며, 양중과정에서 발생된 유동상태가 안정되어 정중동 상태에 다다랐을 때 무전교신에 의해 서서히 하강되도록 유도한다. 이어 MCB의 중심부가 가이드 프레임을 관통하며 따라 내려와 사전에 설치된 레벨링 볼트에 근접하면 미세조정 작업을 시작한다. 미세조정 작업은 체인블럭과 슬링벨트 등을 이용하여 실시한다.

MCB의 정위치 가설은 상부거더 전체 가설 선형에도 영향을 주는 매우 중요한 작업과정이다. 이를 위해 MCB의 가거치 즉시 정위치 여부를 확인할 수 있도록 코핑과 MCB의 부재 측면에 먹줄을 이용하여 레벨선과 중심선을 미리 마킹해 두었다. 만약, 중심선과 레벨선, 그리고 사면의 모서리면이 맞지 않는 경우에는 수차례의 상승과 하강작업을 반복하면서 재조정 작업을 실시하여야 한다. 이러한 미세조정 작업은 해상크레인에 의해서만 조정이 가능하기 때문에 정위치 가설이 확인된 후에야 장비를 철수할 수 있다.

### 3) 무수축 몰탈 타설 및 양생

MCB의 정위치 가설이 완료되면, 코핑 상단과 MCB 하면 사이에 이격된 틈새 (50mm)를 무수축 몰탈 타설을 통해 밀실하게 채우는 작업을 실시하게 된다. 이를 위해 미리 설치한 폼 타이를 이용하여 거푸집을 견고하게 고정하고, 거푸집에는 무수축





물탈의 주입구와 유출구를 구분하여 설치한다. 또한, 무수축 물탈 주입시 주입 압력에 의해 거푸집 연결부에서 물탈이 새어나오지 않도록 밀실하게 실링 처리한다. MCB와 코핑을 관통하는 모든 강봉 홀과 쉬스관들은 물탈이 유입되어 막히는 것을 방지하기 위하여 고무튜브를 삽입한 후 공기를 주입하여 둔다. 이를 통해 무수축 물탈이 타설된 부위에서도 강봉과 쉬스관의 홀 확보가 가능해 진다. 이 튜브는 무수축 물탈이 경화된 후에 공기를 빼내어 제거한다.



강봉 홀 공기튜브



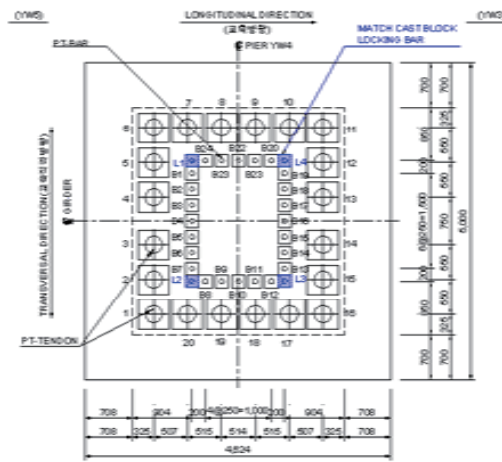
연직 텐던 공기튜브

#### > 고무 튜브에 공기주입

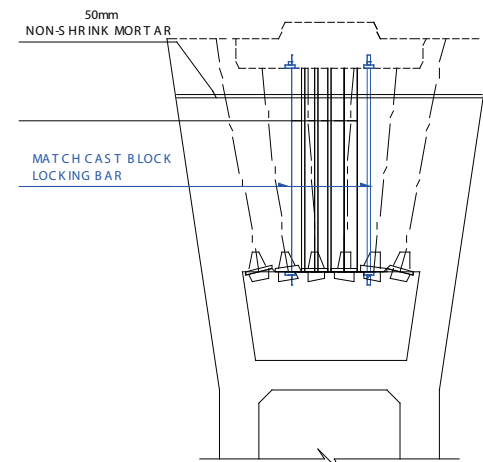
무수축 물탈은 배합 후 경화가 시작되는 시간인 3시간 이내에 마무리 할 수 있도록 작업 계획을 수립하였다. 또한, 무수축 물탈 주입시 거푸집 연결부 등에서 새어나올 경우를 대비하여 초속경 시멘트를 사전 준비하였으며, 상황 발생시 거푸집 보강, 초속경 시멘트 도포 등의 조치를 즉시 실시하였다.

#### 4) Locking Bar 긴장

Locking Bar 긴장은 무수축 물탈의 양생후 소정의 강도(31.5 MPa)를 확보한 후 코핑과 MCB 부재에 압축력을 가함으로써 일체화하는 작업 과정이다. 계획된 4개의 Locking Bar(L1~L4)를 삽입한 후 센터홀 잭을 이용하여 소정의 압력으로 긴장한다.



평면도



단면도

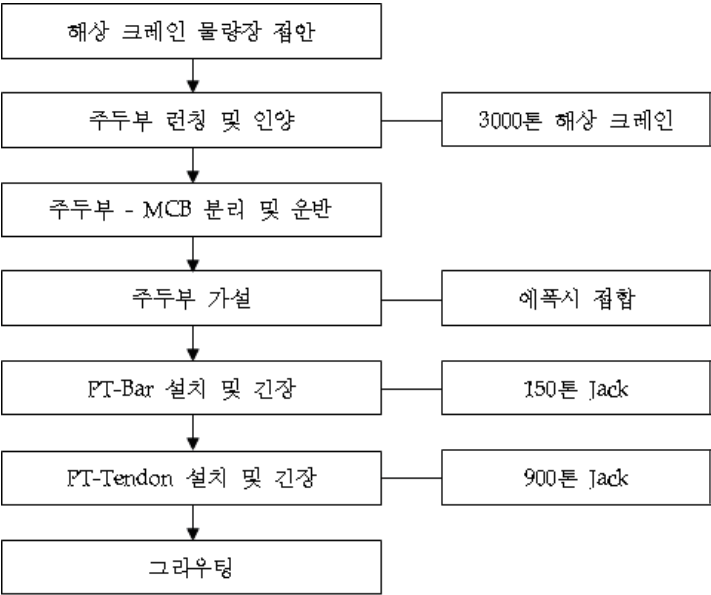
#### > Locking Bar 위치도

Locking Bar 긴장완료후 부식방지를 위해 덕트 내부를 그라우팅 처리한다. 정착구(Plate와 Nut)는 보호캡을 씌운 후 광명단 등으로 방청처리를 실시하며, 최종적으로는 무수축 물탈을 타설하여 마감한다.



4.5 대블럭 가설

4.5.1 시공 Flow



4.5.2 Cycle Time

공 종	작업 기간	1	2	3	4	5	6	7	8
대블럭 인양	1 일	■							
대블럭 가설	1 일		■						
PT-Bar 긴장	1 일			■					
강선 설치	3 일				■	■	■		
무수축 몰탈 타설	2 일							■	■

> 대블럭 시공 Flow

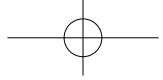
4.5.3 해상 크레인 물량장 접안

주두부 대블럭의 가설을 위하여 3000톤 해상 크레인이 물량장에 접안한다. 3000톤 해상 크레인의 이동은 물때 영향을 받기 때문에 사전에 시간-조위를 고려하여 작업 타임 스케줄을 준비한다.



> 해상크레인 물량장 접안 전경





#### 4.5.4 대블럭 런칭 및 인양

주두부를 제작 몰드에서 런칭하여 3000톤 해상크레인의 인양 위치까지 운반한다. 인양 위치까지 런칭이 완료되면 리프팅 디바이스를 설치하고 고정강봉(φ75mm, 8ea)을 체결한다.



> 주두부 제작장에서 이동준비



> Lifting Device 설치

이때, 3000톤 해상 크레인에는 미리 대블럭 가설용 슬링(Sling ; 인양 와이어와 사클)을 체결하도록 한다. 3000톤 해상 크레인은 대블럭의 인양을 위하여 붐 각도를 48.2°로 조정하고 인양 정위치에 묘박한다.

#### 4.5.5 대블럭과 MCB 분리 및 운반

대블럭과 MCB의 분리작업은 가고정 강봉과 Jack을 이용하여 MCB와 대블럭을 일체로 인양한 후 Jack-down에 의해 MCB를 하강시키는 방법으로 진행한다. 이를 위해 인양작업 전에 대블럭과 MCB에 미리 소정의 강봉을 삽입하여 임시고정하여 둔다. 대블럭 인양이 완료되면 4개의 Jack을 사용하여 MCB를 서서히 균등하게 하강시킨다. 이어 MCB를 받침대에 거치하고 가고정 강봉을 해체한다. 이렇게 분리 작업이 완료되면, 대블럭 하단부와 MCB 상단부의 이물질을 제거한다.



MCB 분리



MCB 분리 완료

> MCB Jack-down 분리 완료 전경



#### 4.5.6 대블럭 거치

대블럭 가설을 위한 가이드 프레임 설치한다. 대블럭 가이드 프레임의 형식은 MCB 가이드 프레임과 동일하나, 경사 보강재를 추가로 설치하여 보강한다.



##### > 대블럭 가이드 프레임 설치

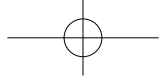
3000톤 해상 크레인을 이용한 중량물 가설시에는 주변 통행 선박들로 인한 항주파가 발생하지 않도록 각별한 주의를 필요로 한다. 당 현장에서는 안전 순시선 2대를 이용하여 주변 선박의 운행을 통제/제한 하였다.

에폭시 도포 작업이 완료되면, 3000톤 해상 크레인을 가설 위치로 정위치 이동하고, 가이드 프레임을 따라서 주두부 대블럭을 서서히 하강시켜 MCB 상부에 거치시킨다. MCB 상부에 거치 후 서서히 인양하중을 줄여 가설을 완료한다. 대블럭 리프팅 디바이스를 해체하기 전에 PT-Bar 4개소를 긴장하여 대블럭을 코핑과 고정하고, 대블럭 리프팅 디바이스는 3000톤 해상크레인으로 인양하여 해체하고 육상으로 반입한다.



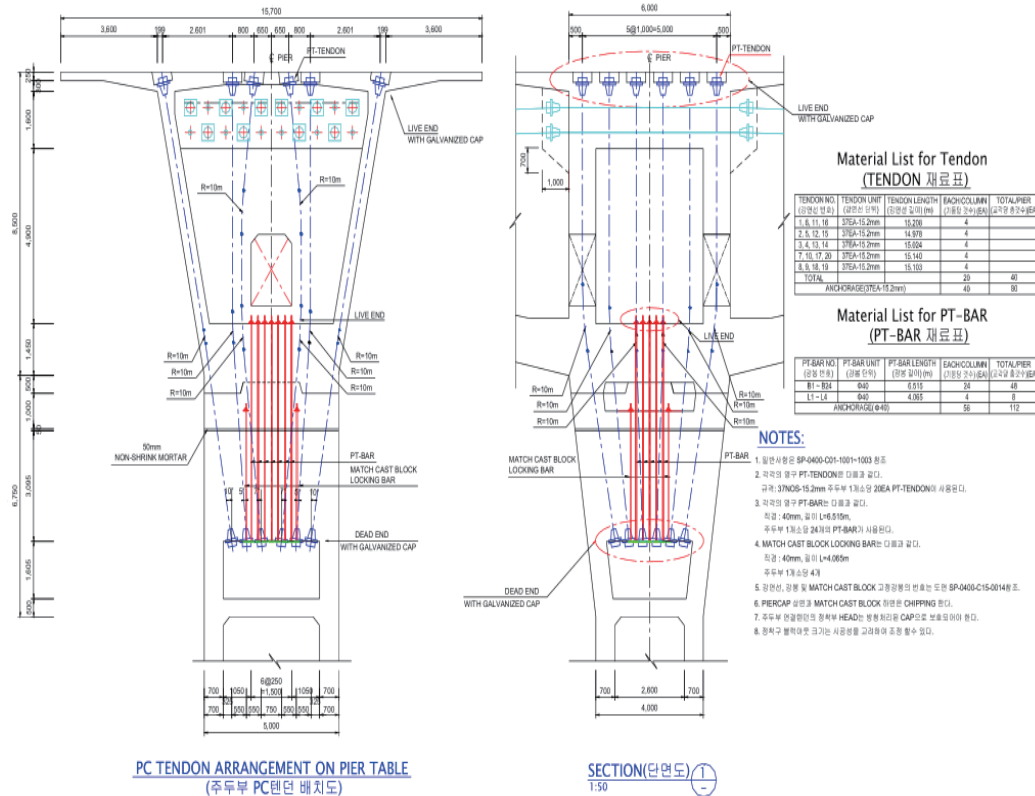
##### > 대블럭 가설 완료

주두부 대블럭 가설이 완료되면, 대블럭과 MCB 접합면에 유출된 에폭시를 제거하고 면마감하여 마무리한다.



#### 4.5.7 PT-Bar 설치 및 긴장

대블럭 가설이 완료되면 즉시 PT-Bar의 상단부와 정착구를 설치하여 PT-Bar 긴장작업을 실시한다. PT-Bar는 하부 구조물의 코핑과 상부 주두부와의 고정 역할을 한다.



#### > PT-Bar 및 연직 텐던 배치도

PT-Bar 긴장 작업 완료 후 강봉 상부의 잔여 부분을 잘라내고, 그라우팅 캡을 설치한다.

#### 4.5.8 PT-Tendon 설치 및 긴장

PT-Bar 긴장 작업이 완료되면, PT-Tendon 긴장 작업을 준비한다. PT-Tendon은 현장 여건상 인력으로 한 가닥씩 삽입한다. 강선 삽입 후 상단부와 하단부의 정착부에 앵커 헤드와 웨이지를 설치하고, 900톤 긴장 Jack과 Pump를 세팅한다.



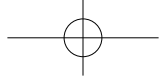
긴장축(상부면)



PT-Tendon 긴장작업 전경

#### > PT-tendon 정착부 세팅

적정 신장량을 확인한 후 웨이지로부터 약 3cm 정도 여유를 두어 강연선을 절단하고 그라우팅 캡을 설치한다.

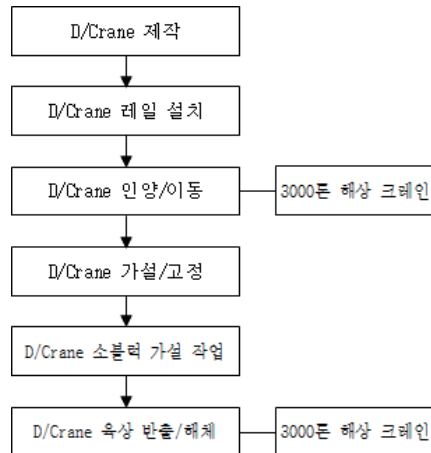


#### 4.5.9 그라우팅

PT-Tendon 긴장 작업을 완료하면, Locking Bar, PT-Bar 및 PT-Tendon 그라우팅을 위하여 상/하 정착구에는 그라우팅 캡이 설치되고, 거푸집 설치 후 무수축 몰탈 타설로 정착구를 마감한다. MCB 내부 PT-Bar의 커플러 연결부는 덕트를 설치하고, 덕트 외부로 무수축 몰탈 타설을 한다.

#### 4.6 데릭 크레인 설치

소블럭 인양을 위한 특수 장비로서 데릭크레인을 운용하였다. 데릭크레인은 송도 제작장 부지내 별도의 제작장에서 제작한 후 해상 가설작업에 투입하였다.



##### > 데릭크레인 시공 Flow

#### 4.6.1 데릭크레인 제작

데릭 크레인 제작시에는 사전에 설계/발주시 반영되는 항목들을 철저히 체크하고, 현장 여건에 따른 소부재 야적과 조립을 위한 부지 확보 및 조립 완료된 장비의 운반 경로와 방법 등을 면밀히 검토 및 계획하여야 한다.

당 현장에서는 접속교 상부 가설을 위하여 총 4대의 데릭 크레인이 제작/투입되었다.



##### > 데릭 크레인 제작 완료

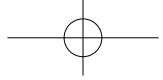
#### 4.6.2 데릭크레인 레일 설치

데릭 크레인 가설을 위하여 기 가설된 주두부 대블럭 상부에 레일을 먼저 설치한다. 레일의 정위치 설치를 위하여 침목 위치, 레일 위치 및 데릭 크레인의 Main Jack 위치를 측량하여 표시한다. 침목(재질:아비동, 압축강도:42.84MPa)과 레일을 정위치에 설치하고, 레벨을 측량한다. Main Jack 위치에는 Base Plate를 설치한다. 데릭 크레인 가설 후 지지를 위한 강봉(전방:32mm, 후방:40mm)을 대블럭에 설치하고, 전/후방 휠을 레일 위에 정위치 설치한다.

#### 4.6.3 데릭크레인 인양/이동

접속교 150톤 데릭 크레인은 육상 제작 완료 후 3000톤 해상 크레인을 이용하여 2000P 바지선에 선적되고, 550HP 예인선으로 가설 현장까지 해상 운반되었다.





#### 4.6.4 데릭크레인 가설 및 고정

현장 가설 위치로 운반된 데릭 크레인은 3000톤 해상 크레인으로 인양하여 가설 및 고정된다. 가설의 세부 방법은 다음과 같다.

- 3000톤 해상 크레인으로 데릭 크레인 인양 및 가설 위치까지 이동
- 유도 로프 및 체인 블럭 등을 이용하여 데릭 크레인의 방향과 위치 조정
- 데릭 크레인의 후방 휠의 핀 체결
- 전방 Main Jack을 Base Plate에 거치
- 후방 고정 강봉( $\phi 40\text{mm}$ ) 및 전방 휠을 핀 체결하고, 인양 와이어 해체
- 전/후방 Screw Jack으로 데릭 크레인의 Main Frame 수평 조절
- 3000톤 해상 크레인의 가설시 조수 간만의 영향을 고려하여 타임 스케줄을 수립하였다.



데릭크레인 인양



데릭크레인 가설 완료

##### > 데릭 크레인 가설 전경

#### 4.6.5 데릭크레인 소블럭 가설 작업

데릭 크레인을 이용한 소블럭 정위치 조정과 가설 과정은 다음과 같다.

- 소블럭 인양이 완료되면, 윈치를 이용하여 대략적인 높이를 조절하고 소블럭 고정 강봉( $\phi 40\text{mm}$ ) 4개소를 체결한다.
- 소블럭 고정 강봉을 Hollow Jack을 이용하여 소블럭을 미세조정하여 정위치 Setting하고 소블럭 가접합을 실시한다.
- 가접합은 데릭 크레인에 무리가 가지 않도록 적당히 소블럭 접합을 하고, 소블럭 내부의 임시 강봉을 이용하여 최종 가접합한다.
- 가접합 확인 후 소블럭을 벌려 예폭시 접합을 실시하고, 임시 강봉 및 강선을 긴장한다.
- 강선 긴장 작업시에는 데릭 크레인의 전방 작업대를 사용하여 강선 긴장 Jack의 설치를 위하여 데릭 크레인의 트롤리를 사용한다.
- 강선 긴장이 완료되면, 리프팅 디바이스를 해체한다.
- 데릭 크레인의 런칭을 위하여 먼저 레일을 전진시키고 레일을 강봉으로 고정한다.
- 데릭 크레인의 후방 고정 강봉( $\phi 40\text{mm}$ )을 해체하고, 데릭 크레인을 런칭하며, 런칭에는 약 2시간이 소요된다.
- 데릭 크레인 런칭 완료 후 후방 고정 강봉을 체결하고 다음 소블럭 가설을 준비한다.

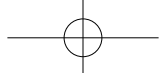


소블럭 운반



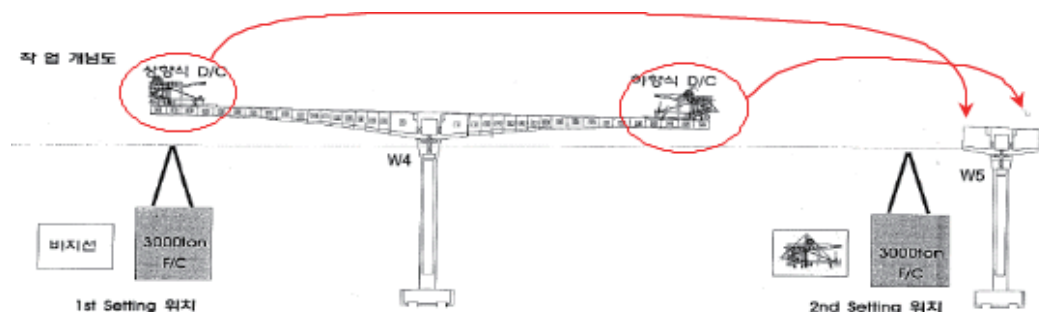
소블럭 인양

##### > 데릭 크레인을 이용한 소블럭 인양 전경



#### 4.6.6. 데릭크레인 이동

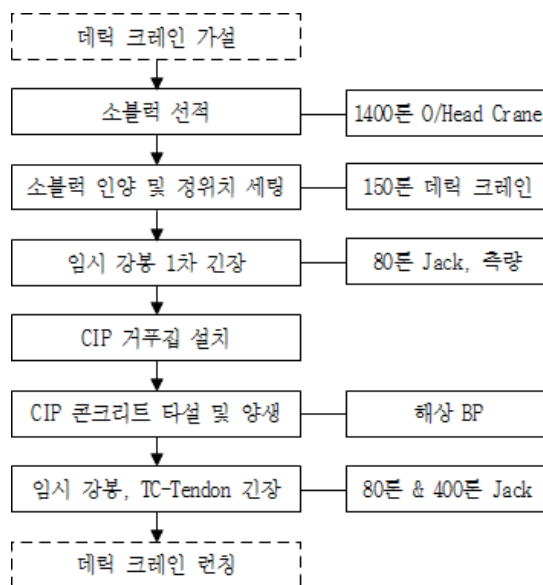
단일 캔틸레버에서 소블럭 가설 작업이 완료되면, 3000톤 해상 크레인을 이용해 1대씩 다음 교각으로 이동 설치한다. 데릭크레인의 이동은 경사가 낮은 쪽을 먼저 이동시킨다. 그 이유는 20m 길이의 대블럭 위에서는 2대분의 데릭크레인 레일을 동시에 설치하기가 곤란한 점을 고려하여 하향식 데릭크레인의 레일을 먼저 설치하고 종단경사를 맞추어 주는 것이 유리하기 때문이다. 한편, 기존 캔틸레버에서 데릭크레인 1대가 먼저 이동되어 제거되는 순간에는 불균등 하중이 발생되어 대략 40cm 정도의 변위를 보이면서 시소현상이 일어나게 된다. 이 부분은 설계단계에서부터 미리 불균등 하중을 고려하여 설계하였으므로, 비록 심리적으로는 심한 불안감을 주지만 구조안전성에는 문제가 없다.



#### > 데릭 크레인의 이동

#### 4.7 기준 세그먼트(Seg.2) 가설

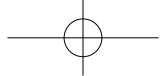
당 현장의 경우 주두부에 설치되는 최초의 세그먼트인 Seg.2번을 기준 세그먼트라 칭하며, 이의 가설은 가장 중요한 작업의 하나이다. 기준 세그먼트 설치시의 오차는 세그먼트 전체의 캔틸레버된 길이에 비례하여 증가되며, 세그먼트의 제작이 잘 되었다하더라도 무의미해 진다. 따라서, 기준 세그먼트의 설치시에는 측량의 정밀도에 더욱 각별한 주의를 기울여야 한다.



#### > Seg.2 시공 Flow

#### 4.7.1 소블럭 선적

당 현장에서는 소블럭 선적을 위하여 FSLM 거더의 선적에 사용되는 1400톤 오버헤드 크레인을 전용함에 있어서 소블럭이 운송되는 동선을 별도로 계획하였으며, 몇가지 단계로 소블럭이 육상 운반 및 선적되었다.



#### 4.7.2 소블럭 인양 및 정위치 세팅

소블럭(Seg.2)이 해상 운반되어 데릭 크레인을 이용하여 인양하고, 정위치 세팅 작업을 착수한다. 주두부와 Seg.2는 제작시 Match Casting이 이루어지지 않았기 때문에 CIP Joint 시공을 계획하였으며, 이때, 주두부 대블럭의 가설 시공 오차를 흡수하여 Seg.2에서는 정위치 세팅하도록 한다. Seg.2의 세팅은 교축 방향 중심선과 4개의 레벨링 볼트를 이용하여 선형을 정위치하며, 교축 방향 중심선 오차는  $\pm 1\text{mm}$  이내, 레벨링 볼트 오차는  $\pm 2\text{mm}$  이내로 조정한다. 이때 제작 과정에서 발생된 레벨링 볼트의 오차를 보정하여 반영한다. Seg.2 정위치를 위하여 별도의 세팅 슈트를 작성하여 측량 및 선형 관리를 실시하였다.



##### > Seg.2 인양 및 세팅

#### 4.7.3 임시 강봉 1차 긴장

Seg.2의 레벨과 선형 세팅 전 CIP Joint 간격(150mm)를 유지하기 위하여 주두부에 매입된 너트에 간격 유지 볼트를 체결한다. Seg.2 정위치 세팅이 완료되면 설치된 간격 유지 볼트를 지지 플레이트에 밀착시킨다.

#### 4.7.4 CIP 거푸집 설치

Seg.2의 정위치 세팅 및 고정 완료되면, CIP Con'c 타설을 위하여 거푸집을 설치한다. 먼저 강선 스위관을 연결하고, Con'c가 유입되지 않도록 에폭시로 스위관 외부를 도포하여 마감하며, 스위관의 변형을 방지하기 위하여 스위관에 파이프를 설치하였다. 거푸집은 길이 1.2m 미만의 단위로 제작하여 설치하며,  $\Phi 16\text{mm}$  폼타이로 고정하였다.

#### 4.7.5 Con'c 타설 및 양생

CIP 거푸집 설치 후 CIP Con'c 타설을 위하여 해상 BP를 준비하고, 주두부 대블럭 상부의 25톤 하이드로 크레인으로 호퍼를 사용하여 Con'c를 타설하였다.



##### > CIP Con'c 타설 전경

CIP Con'c 타설 후 습윤양생을 실시하였으며, Con'c 압축강도가 70%(31.5 MPa) 발현시까지 습윤양생 환경을 유지하였다.



#### 4.7.6 임시 강봉 및 TC-Tendon 긴장

CIP Con'c의 압축 강도가 31.5MPa 이상 발현되면 임시 강봉을 긴장한다.



> 임시 강봉 체결 및 긴장 전경

TC-Tendon(TC-3)을 강선 삽입기를 사용하여 삽입하고, 정착구에 Anchor Head와 Wedge를 설치한다. 다음으로 데릭 크레인에 설치된 트롤리를 사용하여 400톤 Jack을 세팅하고, 마스터 게이지와 펌프를 연결한다.

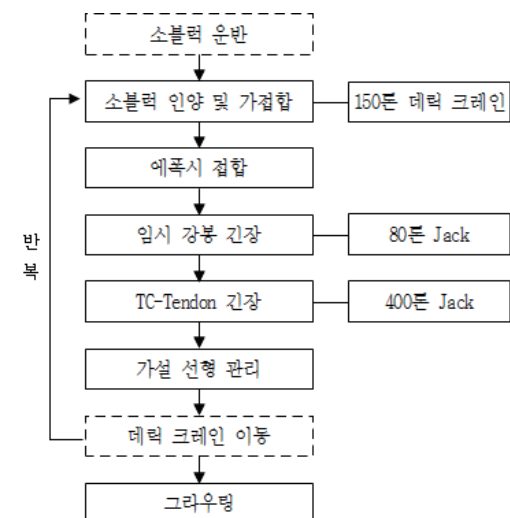


> TC-Tendon 긴장 전경

#### 4.8 일반 세그먼트(Seg.3 ~ Seg.18) 가설

##### 4.8.1 개요

주두부 및 기준 세그먼트의 설치가 완료되면 데릭크레인을 이용하여 다음과 같이 세그먼트의 순차적인 반복 가설을 통해 붙여나간다.



> 일반 세그먼트 시공 FLOW





#### 4.8.2 소블럭 인양 및 가접합

Seg.2 가설이 완료되면 데릭 크레인을 런칭하고 다음 Seg.를 인양한다. 소블럭은 제작장 몰드에서 Match Casting되어 생산되었지만, 세그먼트 취급, 야적, 운반과정에서 변형이나 파손이 발생될 수 있다. 그러므로 에폭시 접착제 도포전에 먼저 미리 접합시켜 보아 접합면에 이상이 없는지여부를 살펴보아야 한다.

이처럼 PFCM 교량은 접합부에서 약간의 변화만으로도 가설 선형에 큰 영향을 초래하므로 특히 주의하여야 한다. 가접합을 할 때에는 임시강봉 긴장력의 20% 정도를 긴장하여 접합면에서 특이 사항이 없는지를 육안 확인하여 체크하였다.



리프팅 디바이스 체결



소블럭 인양

#### > 소블럭 인양 및 가접합 전경

#### 4.8.3 에폭시 접합

가접합을 통해 이상 없음이 확인 완료되면, 임시강봉의 긴장력을 풀고 소블럭을 다시 30~50cm 정도 벌려준다. 접합면은 에어 컴프레서를 이용하여 깨끗이 청소하고 에폭시 도포 준비를 한다. 에폭시는 주재와 경화재를 적정 배합으로 혼합하여 인력에 의해 도포 작업을 실시한다.



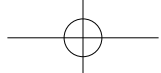
거더내부 하부슬래브 도포



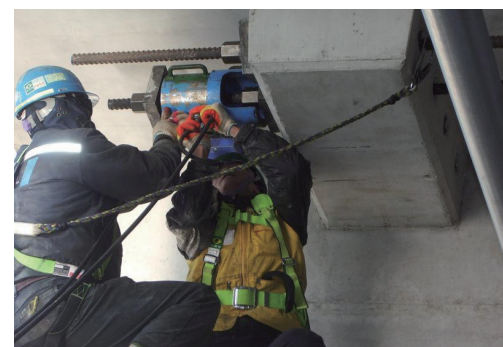
Web 접합부

#### 4.8.4 임시 강봉 긴장

에폭시 도포 후 소블럭을 즉시 접합하며, 임시 강봉을 신속히 긴장하도록 한다. 임시 강봉 긴장은 긴장력이 좌우 대칭으로 작용하도록 긴장을 실시하며, 상/하부를 교대로 긴장한다. 긴장 도입력이 한쪽 방향으로 치우쳐 작용되지 않도록 적절히 배분하며, 이때 에폭시가 전 접합면에 걸쳐 새어 나오는지 확인하도록 한다.



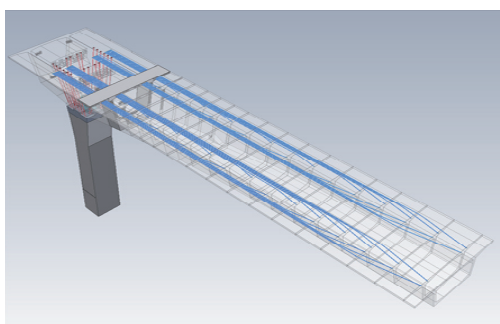
하부 임시강봉 긴장



상부 임시강봉 긴장

> 임시강봉 긴장

4.8.5 TC-Tendon 긴장



> TC-Tendon 개요도

접속교 상부공은 균형 캔틸레버 가설 공법이 적용되어 소블럭이 순차적으로 가설됨에 따라단계별로 늘어나는 캔틸레버를 지지하기 위하여 TC(Top Cantilever)-Tendon이 긴장된다.

TC-Tendon 시공 단계는 다음과 같다.

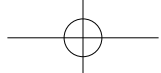
- 강선 Roll 반입
- 강연선 디스펜서 설치 : 강연선 디스펜서에 설치된 강연선은 다시 해체 할 수 없으므로, 필히 강선이 풀려나오는 방향을 고려하여 설치한다. 또한, 강선이 바닥에 닿아 삽입되는 동안 굽히지 않도록 플라스틱 주름관 등으로 강선을 보호한다.
- 강선 유입구 강선 가이드 설치
- 강선 삽입기 설치
- 강선 삽입 실시 : 강선 유입구와 유출구 및 강선 삽입기 부분에서 각각의 숙련된 기능공 인력이 서로 무선 교신을 통하여 강연선의 삽입 길이를 확인하면서 진행한다.



> 강연선 삽입기



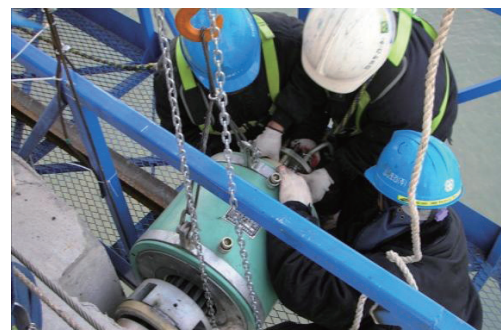
> 강연선 삽입길이 측정 계기판



- 강선 절단 : 긴장 작업에 따른 정착단과 긴장단을 강선의 여유장을 고려하여 그라인더를 사용하여 절단한다.
- Anchorhead 및 Wedge 설치 : Wedge 설치 후 스프레이로 마감한다.
- 유압 Jack(400톤)을 설치한다.



> 웨지 설치



> 멀티 Jack 400ton 설치

- 마스터 게이지와 펌프 체결 : 마스터 게이지는 유압 Jack에 바로 연결되며, 내부에 글리세린이 채워져 가압시 바늘이 떨리지 않으며, 유압 라인이 약 2m 정도로 Jack에 작용되는 실제 압력을 가장 잘 나타낸다. 각종 유압 Jack과 마스터 게이지는 검교정을 필히 실시하며, 주기적인 검교정을 통하여 적정성을 확인한다.
- 긴장력 도입 : 가압은 5단계로 나누어서 순차적으로 가압하며, 각 단계에서 신장량을 측정하고, 단계별 신장량이 적정한지 검토한다.
- 유압 Jack 해체 : Jack을 해체하고, 스프레이 마킹 부분으로 신장량 발생 상태를 육안으로 최종 확인한다.

#### 4.8.6 가설 선형 관리

소블럭 가설의 가설 선형 관리는 Camber와 교축 선형으로 구분된다. Camber의 측량은 세부 시공 단계별(가설후/긴장후/데릭런칭후)로 하중 작용이 변화됨을 고려하여 각각 단계별 측량 및 성과를 확인하였다. 선형 측량은 하중 변화에 의한 유동이 안정화되었을 때에 실시하며, 일반적으로 강선 긴장 직전에 실시하였다.



> 가설 선형 측량 전경

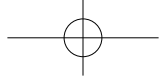


#### 4.8.7 그라우팅

강선 긴장 작업 후 가설이 완료되면 쉬스관 내부에 그라우팅 작업을 실시한다. TC-Tendon 그라우팅 작업 단계는 다음과 같다.

- 정착구 시공 : TC-Tendon의 정착구에 그라우팅 호스(엑셀 파이프)를 설치하고, 무수축 몰탈로 정착구 마감을 한다.
- 분말 방청제 도포 : 긴장 완료된 Tendon은 최대한 빠른 시일내에 그라우팅을 실시하여야 하며, 그라우팅 작업 지연 예상시 강선의 부식을 방지하기 위하여 쉬스관 내부에 특수 분말 방청제인 MCI를 살포하여 강선의 부식을 방지하였다.
- 그라우트 배합 및 그라우팅 : 그라우팅 배합 및 품질 기준은 주두부 PT-Tendon 그라우팅과 동일하다.



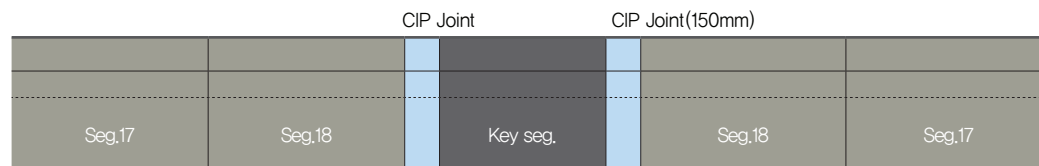


## 4.9 Key Segment 시공

### 4.9.1 시공방법

#### 1) 개요

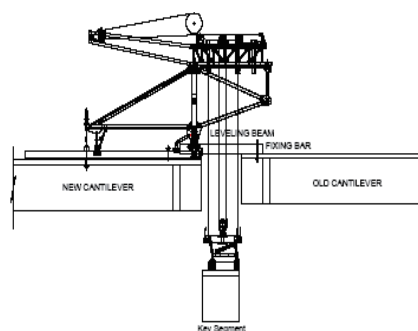
단일 캔틸레버부의 가설이 완료된 후 인접한 교각 사이의 중앙경간을 연결하여 완전한 구조체를 형성하는 과정이 Key Segment 시공단계이다. 본 교량은 국내 최초로 키세그먼트를 프리캐스트 부재로 제작(2.7m)하였으며, 이 부재의 원활한 가설을 위해 키세그먼트 양측에 CIP Joint(150mm) 구간을 두어 최소한의 현장 타설만으로 폐합하는 방식으로 계획되었다.



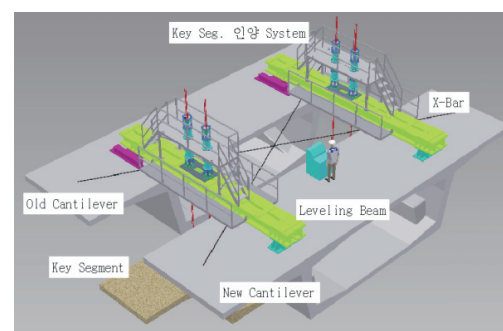
#### > Key Segment Closed Joint

원 설계는 그림 4.9.2(a)와 같이 데리크레인을 이용하여 프리캐스트 키세그먼트를 가설하는 것으로 계획되었으나, 데리크레인의 원활한 운용을 위해 그림 4.9.2(b)와 같이 별도의 Key Segment 전용 가설 시스템을 도입하였다. 이 컨셉은 비교적 간단한 Jack-up 시스템을 추가하는 것으로, 이미 계획된 레벨링 빔과 강연선을 활용할 수 있어 투입비용 대비 그 적용 효과를 극대화할 수 있는 것으로 판단되어 적극 추진하였다.

이로써 데리크레인의 운영은 소블력의 가설에만 집중하게 함으로써 공중간섭을 배제하여 획기적인 공기단축이 가능하게 되었다. 당시 시공 진행 중이었던 서측접속교의 경우에는 설계조건의 캠버그를 맞추기 위해 데리크레인 중량만큼의 보상용 Counter Weight를 적용하여 가설작업을 진행하였으며, 동측 접속교는 현장의 설계진행 방식(패스트 트랙)의 특징을 살려 최종 설계에 반영하였다.



(a) Lifting by derrick crane (당초)

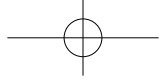


(b) Jack-up Lifting system (변경)

#### > Key Segment 인양 장비

### 2) 시공순서

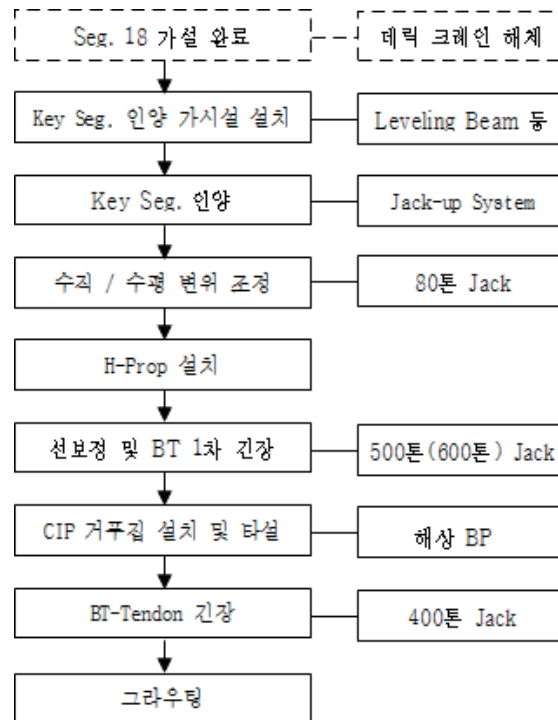
- Key Segment를 바지선에 준비시키고 인양하중의 50% 중량의 Counter Weight를 반대측 캔틸레버 상부에 위치시킨다.
- 시공중인 캔틸레버에 Leveling Beam 등 의 인양 가시설을 설치하고 Lifting Jack을 체결한 후 Key Segment를 인양한다.
- Key Segment 인양 자중에 의해 시공중인 캔틸레버가 아래로 처지며, Leveling Beam이 기시공된 캔틸레버에 접촉하게 된다. 세그먼트를 계속 인양하여 Leveling Beam 위치까지 도달하면 Key Segment를 Leveling Beam에 강봉으로 고정한 후 Lifting Jack을 서서히 풀어 인양 강선을 해체한다.
- X-Bar와 Leveling Beam을 이용하여 교축방향 변위와 연직방향 변위를 조정하며, 조정이 완료되면 Key Segment를 강봉으로 Leveling Beam에 고정한다.



- 선형조정이 완료되면 거더 내부의 격벽 위치에 H-Prop Beam을 설치한다. 선보정을 재하하는 폐합에서는 복부당 2개의 하부텐던을 0.3 fpu로 먼저 긴장하고, 선보정을 재하하지 않는 폐합에서는 복부당 3개의 하부텐던을 0.7 fpu로 긴장한다.
- CIP 콘크리트 타설을 위해 거푸집을 설치하고, 해상 BP선으로부터 콘크리트를 공급받아 호퍼를 이용하여 타설한다.
- 콘크리트 양생이 끝난 후 콘크리트의 소요강도가 확보되면 H-Prop Beam을 해체한 다음 전체 하부 텐던을 인장하며, 스위관 내부는 모두 그라우팅 처리한다.
- Key Segment 폐합이 모두 완료되면 X-Bar와 Leveling Beam을 해체하고 Counter Weight를 다른 Pier로 이동시킨다.

### 3) 시공 Flow

접속교의 키세그먼트는 서측 10개소, 동측 10개소 등 총 20개이다.



#### > Key Segment 시공 Flow

#### 4.9.2 Key segment 인양 및 가설

##### 1) Key segment 선적 및 해상 이동

선적할 키세그먼트에 2개의 전용 리프팅 프레임을 설치하고, Overhead crane을 이용하여 바지선에 선적을 한 다음 설치 장소까지 운반한다.



#### > Key segment 선적



## 2) Key Seg. 인양 가시설 설치

Key segment 가설 위치 반대편에 Counter weight를 설치한다. 이때 재하 중량은 키세그먼트 인양 중량의 50%로 한다. 이는 키세그 인양측의 과도한 처짐을 제어하며 양쪽 캔틸레버간의 단차를 조절하는 용도로 사용하기 위함이다.



Counter weight 설치



Leveling beam 고정

### > Key segment 인양 준비작업

2개의 Leveling beam을 1조로 하여 북부 좌우측에 각각 2조를 설치하고, 그 주변에 작업발판을 설치한 다음 인양 장비인 2단 모듈라 잭을 설치한다. Supporting Block이나 X-Bar Block은 개소당 디비닥 강봉(Φ36mm, 긴장력 0.5fpu 도입) 4개소로 고정해 둔다.



#### [ Jack-up System의 제원]

- Jack용량 : 80톤, Stroke : 250mm
- Jack수량 : 8개
- 작동방법 : 2단 모듈 자동화 System
- 인양강선 : 0.6"(15.2mm)-4EA/지점당
- 양중속도 : 4m/hr

### > Jack-up System 설치

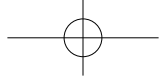
## 3) Key segment 인양

바지선을 Key segment 인양 위치에 묘박하여 앵커링한 후, 리프팅 강연선을 준비해 2단 모듈라 잭 상부로부터 각 4가닥씩 삽입하여 바지선 위치까지 아래로 늘어뜨린다. 이때, 바지선에서는 하강된 인양 강연선을 어댑터를 이용해 리프팅 프레임과 체결한다. 인양 준비가 끝나면 무전교신에 의해 2단 모듈라 잭을 가동시켜 서서히 인양한다.

키세그 인양중량에 의해 캔틸레버가 아래로 처지며 레벨링 빔이 기존 캔틸레버에 접촉한다. 이 과정에서 레벨링을 통해 양측 캔틸레버에 하중분배가 이루어지며, 레벨링 빔의 구조계는 일시적인 경계조건의 변화가 생기게 된다. 그러므로 레벨링 빔을 지지하는 한쪽방향 받침은 가동이 될 수 있도록 관리하는 것이 중요하다.



### > Key segment 인양 작업 전경



Key segment를 계속 인양하여 Leveling beam 부근(약 1m 아래)에 도달하면, 2단 모듈라 잭의 가동을 중단하고 별도의 인양 강봉을 설치한다. 강봉 체결이 완료되면 인양 강선을 절단한 다음 2단 모듈라 잭을 해체한다. 이어 센터 홀 잭을 이용한 인양강봉 긴장을 통해 키 세그먼트 상부면을 기존 캔틸레버 상부면 위치까지 도달 시킨후 leveling beam에 임시 고정한다. 한편, Key Seg. 인양에 따른 구조계 거동 변화나 Jack-up System 셋팅 오차에 의해 인양 중에도 인양 위치를 조정할 경우가 발생한다. 이럴 경우에는 X-type Bar의 긴장이나 Jack-up System의 하단부를 소형 Jack을 이용하여 수평 이동시키는 방법으로 조정한다.



인양강봉 설치



인양 강연선 절단

#### > Key segment 최종 인양

#### 4) 수직/수평 변위 조정

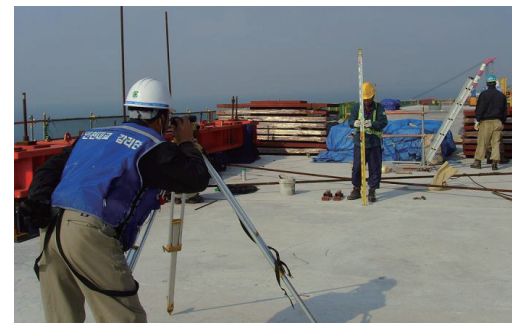
Key Seg. 인양 완료 후 마주보는 캔틸레버의 수직 변위와 수평 변위를 조정하여 가설 단차를 제거하고 교축방향의 평면선형을 동일하게 맞춘다. 수직 단차의 경우에는 기본적으로 Key Seg. 자중에 의하여 조정이 되지만, 측량 성과를 바탕으로 다음과 같은 방법으로 최종적인 미세 조정작업을 실시한다.

- Counter Weight 위치를 조정하여 캔틸레버의 상대 변위 조정
- Leveling Beam의 고정강봉 긴장을 통하여 캔틸레버의 상대 변위 조정

이 과정에서 수직변위 조정작업은 기 가설 완료된 캔틸레버의 가설 경향을 분석하여 향후 가설될 Key Seg. 부분의 캔틸레버 상대 오차를 고려한다. 이러한 조정 작업 과정들은 단계별 측량을 통해 성과기록을 해 둔다.



변위조정 완료



Key Seg 선형관리 측량 전경

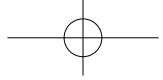
#### > Key Seg 가설 Camber 조정

수평 변위 조정의 경우에는 X-Bar를 긴장하여 평면상의 변위 오차를 조정한다. X-Bar 긴장을 통하여 조정될 수 있는 한계치는 상대 편차 100mm 이내이다. 평면선형 조정작업은 최소 0.3fpu 만큼의 긴장력을 도입하였다.

#### 4.9.3 수평 버팀대(H-Prop Beam) 설치

선형조정이 완료되면, 거더 내부 격벽 좌우측에 H-Prop Beam을 설치하는데, 이 부재는 상부거더의 종방향 변위를 제어하는 장치로서 아래와 같이 2가지 목적으로 사용되었다.





- (1) Key segment CIP 콘크리트 타설후 온도변화에 의한 수축/팽창으로 인해 발생할 수 있는 유해균열을 방지하기 위해 부분 프리스트레스(1차 긴장)를 도입할 때 버팀 지지대 역할
- (2) 선보정 수평력 도입 구간에서 소요 Jack Force를 도입하기 위한 버팀대 역할



#### > H-Prop 설치 전경

H-Prop의 설치 작업 단계는 다음과 같이 이루어진다.

- 캔틸레버 거더 내부에 2조각으로 분리된 H-Prop Beam를 넣는다.
- Seg.18 격벽에 H-Prop을 거치할 Bracket을 설치하고 Set Anchor로 고정한다.
- H-Prop에 설치된 Lug에 체인블록을 체결하고 CIP Joint 공간을 통하여 Leveling Beam에 지지하여 인양하고, Bolt 연결 조립을 통해 정위치에 설치한다.
- 작업순서는 상부 H-Prop를 먼저 거치하고, 하부 H-Prop를 동일한 방법으로 거치한다.
- 한쪽 방향의 H-Prop과 격벽사이에 유압 Jack을 설치한다. 이때, 유압 Jack은 500톤 이상으로 하고, Lock Nut 형식의 Jack으로 설치한다. 잭 용량은 선보정 수평력 도입시 발생하는 변위값 이상의 Stroke를 가진 제원의 유압 Jack을 설치한다.
- H-Prop과 유압 Jack 설치가 완료되면, 격벽과의 사이에 예폭시를 충전한다.
- 예폭시 경화가 완료되면, BT-Tendon 일부를 긴장하여 Pre-stressing 긴장력을 도입하며, 양측 Cantilever가 임시로 고정된다. BT-Tendon의 1차 긴장작업은 일반 구간과 선보정 구간으로 구분하여 실시한다.
- H-Prop Beam에 도입되는 압축력과 가설 기간동안 응력 변화를 계측할 수 있도록 H-Prop Beam에 변형률 게이지(Strain Gauge)를 설치한다.

#### 4.9.4 선보정 도입 및 하부텐던 1차 긴장

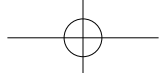
선보정 수평력을 도입하는 방법은 다음과 같다.

- 선보정 하중을 도입할 유압 Jack을 4개소로 병렬로 연결한다.
- 선보정 하중을 4개의 유압 Jack에 동시에 도입시킨다.
- 유압을 천천히 가압시키며, 최대 5MPa 단위로 나누어 가압한다. 이때, 미리 선형 보정을 위하여 X-Bar가 이미 팽팽히 긴장되어 있기 때문에, 선보정 변위에 의하여 긴장력이 추가로 발생된다. 따라서, X-Bar에 Jack과 마스터 게이지를 설치해두고 X-Bar에 발생하는 압력을 같이 확인하면서 선보정 하중을 도입하며, 압력이 많이 발생하면 조금씩 줄인다.
- 각 가압 단계에서 측량을 실시하여 선보정 변위를 측정하고, 선보정 변위가 적정한지 분석한다. 측량 방법은 Key Seg. 구간은 줄자로 변위를 측정하며 광파기를 이용하여 캔틸레버 끝단에 지정된 측량 포인트의 변위를 측정한다.
- 선보정 하중 도입이 완료되면, 유압 Jack의 Lock Nut를 조여서 Jack의 실린더를 고정한다.
- BT의 1차 긴장을 실시한다.

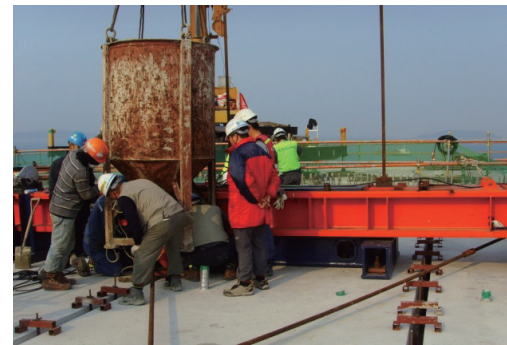
#### 4.9.5 CIP 거푸집 설치 및 타설

BT-Tendon 1차 긴장이 완료되면, CIP Joint Con'c 타설 작업을 한다. CIP Joint 시공 단계는 Seg.2 CIP 시공과 비슷하게 진행되며, 세부 시공 과정은 다음과 같다.





- BT-Tendon 1차 긴장으로 Cantilever가 고정되면, CIP 구간에서 BT-Tendon 스위관 연결을 완료하고, 에폭시를 도포하여 스위관 내부로 콘크리트 유입을 방지한다.
- CIP Joint 구간에 거꾸집을 설치하고, 타이바로 견고하게 고정한다. 거꾸집은 내부에서 내,외부 설치작업을 할 수 있도록 인력으로 제어 가능한 크기로 준비한다.



#### > Key Seg. 내부 CIP 타설 전경

- CIP Con'c 타설을 위하여 해상 BP가 준비되었으며, 호퍼를 사용하여 25톤 하이드로 크레인으로 타설 작업을 실시한다. CIP Con'c 타설을 완료하면 후속 작업인 BT-Tendon 긴장을 위하여 Con'c 압축강도가 31.5MPa까지 발현될 때까지 습윤양생을 실시한다. 한편, H-Prop에 부착된 변형률 게이지를 지속적으로 관찰하여 도입된 압축력의 손실 여부를 확인하여야 한다.

#### 4.9.6 하부텐던 긴장

콘크리트 압축강도가 31.5MPa 이상 발현하게 되면 BT-Tendon 긴장을 실시한다. 강연선 삽입 작업과 Wedge 설치 등의 사전작업은 양생기간 중에 미리 한다. 긴장작업이 완료되면 Key Seg. 가설장비를 해체하고 다음 구간으로 이동한다.

BT-Tendon의 긴장 방법 및 관리 방법은 TC-Tendon과 동일하다.



#### > BT-Tendon 긴장 작업 전경

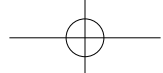
#### 4.9.7 그라우팅

BT-Tendon의 그라우팅 작업은 TC-Tendon의 그라우팅 작업과 동일하다.

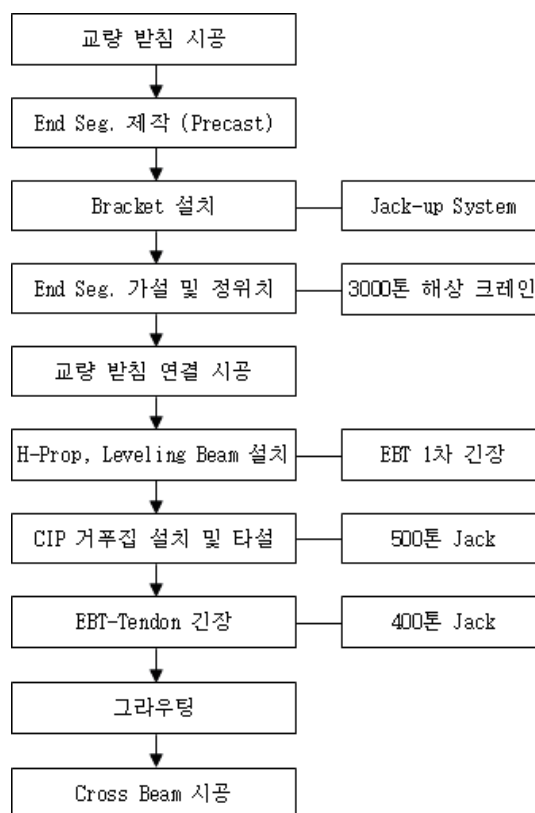
#### 4.10. End Seg. 가설

##### 4.10.1 시공개요

모든 키세그먼트가 가설된 후 측경간의 마지막 가설 부재인 약 11m 길이의 End Segment 시공이 이루어진다. 이 부분은 당초 현장타설 방식으로 계획되었으나, 프리캐스트 부재로 제작하여 일괄 가설하는 것으로 변경하였다. 이는 해상에서의 불리한 작업여건을 극복하고, 구조물의 품질 확보 및 공기 단축을 위한 것이다. 동측구간의 설계는



패스트트랙 방식 진행으로 반영하고 서측의 경우는 설계개정으로 이루어졌다. 이 방법을 적용하기 위해서는 크게 ① End seg 제작단계 ② Pier Bracket 제작 및 가설단계 ③ End seg 해상 가설단계 ④ Cross Beam 시공단계로 진행된다. 세부적인 시공흐름은 다음과 같다.



> End segment 시공 Flow

#### 4.10.2 교량 받침 시공

엔드세그먼트 시공에 앞서 교량받침을 설치하였다. 접속교 구간의 교량받침은 교각 3번 구간과 교각 10번 구간에 부반력 포트받침(Hold Down Pot Bearing)이 적용되었다.

> 교량받침 제원

설치 위치	연직력	수평력	수량
W3, E3	1,200 톤	270 톤	4 EA
W10, E10	1,000 톤	150 톤	4 EA

교량받침 시공 순서는 다음과 같다.

- 코핑 주변에 작업발판대와 난간대를 설치한다.
- 교량받침 블록을 깨끗이 치핑하고 측량을 통하여 정위치를 마킹하였다. 또한, 교량받침의 정밀한 수평도 확보를 위하여 높이 조절용 Level Bolt 8개소를 설치하였다.
- 교량받침 양중작업은 해상 크레인을 이용하였으며, 교량받침을 정위치에 안착하기 위하여 체인블럭 등을 이용하였다. 거치가 완료된 후 교량받침 상부를 측량하여 정위치 확보여부를 확인한다.
- 교량받침 Bed 부분과 Block-out 부분에 무수축 몰탈을 타설하기 위하여 거푸집을 견고하게 설치하고 몰탈이 새어나오지 않도록 밀실하게 실리콘 등으로 마감한다.
- 무수축 몰탈 타설전 살수를 통하여 습윤상태를 유지하고, Block-out 부분 내부의 물과 이물질 등을 제거한다. 무수축 몰탈을 배합하여 충진을 시작하며, 한쪽 유입구에서 주입하여 반대편 유출구에서 넘칠때까지 지속적으로 타설한다.



> 교량받침 가설



> 무수축 몰탈 타설

#### 4.10.3. End Seg. Precast 제작

##### 1) 개요

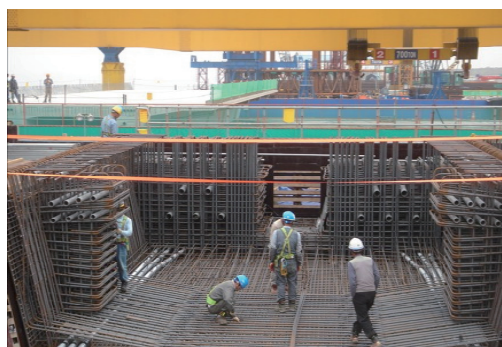
FCM 교량에서 측경간의 End Seg. 시공은 일반적으로 FSM(Full Staging Method)공법이 적용되므로 현장타설 방식으로 하나, 당 현장의 접속교 End Seg.는 Precast 제작하여 일괄 가설하는 공법을 채택하였다. Precast 가설 시공에 따라, 구조물의 품질이 개선되며, 공기를 단축할 수 있었다.

##### 2) 제작장 위치

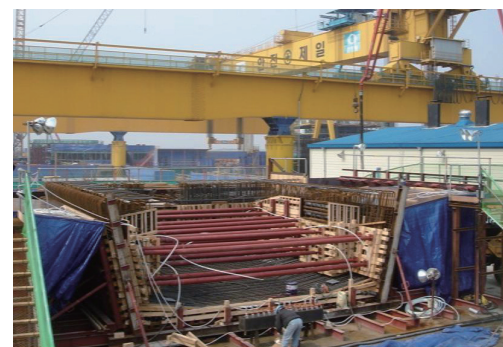
제작장 위치는 물량장 근처 고가교 FSLM 곡선구간 거더 제작장을 사용하였다.

##### 3) 세부 시공 방법

End Seg. 제작은 상자형 단면이므로 시공성을 고려해, 분할 타설하였다. End Seg.의 교량받침 부분은 End Seg. 해상 거처 작업 후 기 설치된 교량 받침과 연결하기 위하여 Block-out(1,700 1,000 700,mm)하여 제작하였다. 이때 Block-out 구간은 교량받침 스타드 앵커와 같은 크기의 Templet을 제작하여 바닥 폼에 고정해 두었다. End seg. 단부면에는 다이어프램 개부구를 설치하고 각 텐던(EBT tendon 및 External tendon)들의 정착구 Casting을 설치하였다. 하부텐던은 시공상세도에 의거한 프로파일을 준수하여 배치하였다. 또한 Cross Beam 현장 타설부 해상 시공시 철근연결을 위한 Coupler를 미리 매입해 두었다. 1차 타설은 분할타설 계획에 의거 바닥으로부터 약 2m 높이 만큼 타설하였다.



> 1차 철근배근 작업



> 1차 콘크리트 타설

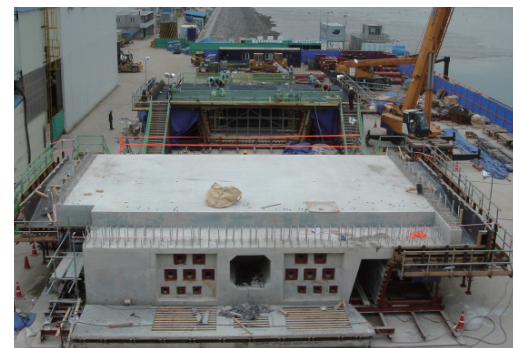
##### 4) Eng Seg 2차 분할 시공

1차 타설구간의 콘크리트 양생이 완료되면, 시공이음부를 워터젯 등을 이용하여 깨끗이 치핑하였다. 이어 2차 타설을 위하여 내부 폼의 수평 지지대를 제거하고, 내부 동바리를 설치한 다음 상부슬래브 바닥 거푸집을 설치하였다.





> 2차 콘크리트 타설



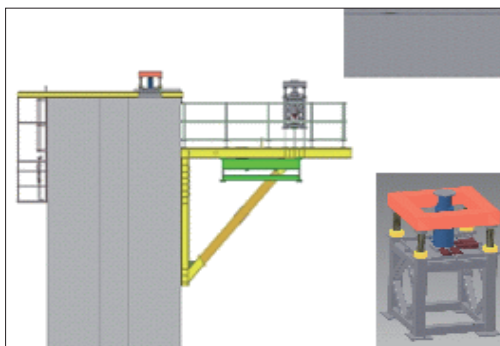
> 제작 종료

#### 4.10.4 Pier Bracket 설치

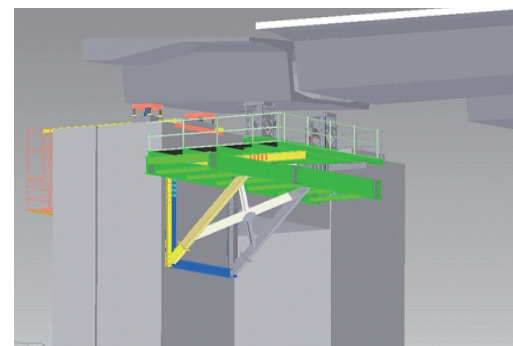
##### 1) 개요

프리캐스트로 제작한 4개의 End Segment를 해상에 거치하기 위해서는 Pier Bracket System의 도입이 필요하다. 또한 이 System을 적용하기 위해서는 별도의 인양 설비가 필요한데, 그 구성 부재로는 Rail, traveler, lifting frame, Jack-up 장비 등이다. 그리고, 엔드세그먼트를 3,000톤 해상 크레인으로 가설시 안전한 거치에 필요한 temporary support, walk way, guide frame 등이 추가적으로 필요하다. 이 부재들은 Temporary Works Design에 반영하고 설계승인을 득한 후 공장에서 제작되어 현장에 반입되었다.

##### 2) 시공 개념도



Pier Bracket system 거치 개념도



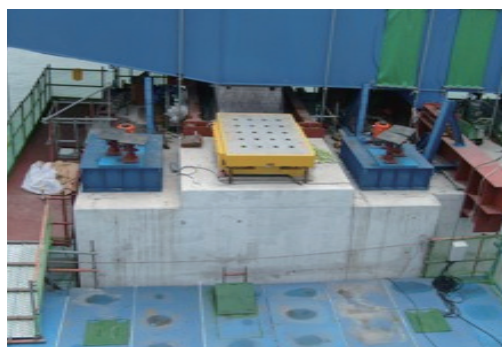
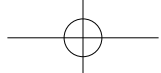
End segment 거치 개념도

##### > Pier Bracket System

##### 3) 브라켓 설치

브라켓을 인양하기 위해 별도로 제작한 레일과 트레블러, 그리고 Jack-up system을 설치하였다. Bracket을 인양하기 위한 Jack-up System은 Key Seg. 인양에 사용된 Jack-up System을 전용하여 적용하였다. 이 부재들은 1조로 운영되므로 브라켓 설치 후에 곧바로 해체하여 다음 브라켓 인양위치로 이동한다.

Bracket은 교각 기둥별로 각 4개씩 제작하여 해상바지선으로 운반한 후 Lifting system으로 인양하고, 교각에 미리 매설해 둔 24개의 덕트홀에 thread bar( $\phi 40\text{mm}$ )를 삽입한 후 긴장하여 고정한다. 강봉 긴장작업은 후방작업 발판부에서 실시하는데, 유압 Jack을 이용하여 0.7fpu까지 긴장한다. 엔드세그먼트를 가설하기 전 Bracket 위의 임시받침과 코핑 상부의 임시받침 높이를 정밀한 측량을 통해 미리 셋팅해 두었다. 또한, Bracket과 코핑 상부에 각각 2개소씩 임시 받침을 설치하였으며, 이러한 임시 받침은 End Seg.가 가설된 후 정위치 세팅을 위한 미세조정이 가능하도록 제작되었다.



> 코핑부 임시 받침 잭 및 슬라이딩 패드



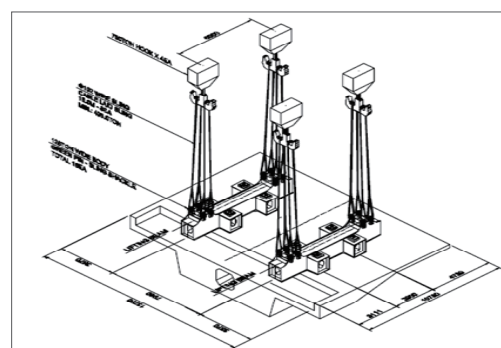
#### 4.10.5 End Seg 가설

##### 1) 개요

브라켓 설치가 끝나면 3,000톤 해상크레인을 End Seg. 제작장에 접안시키고 End Seg.를 인양하여 해상 가설 위치로 운반한다. 교각 3번의 경우에는 교각 높이가 높아 해상크레인의 붐 각도를 최대한 올리고 만조에 맞추어 가설을 실시하였다. 이 작업과정에 대하여 별도의 운송해석을 실시하여 안전성 확보 여부를 확인하였다.



인양 준비작업(제작장)



인양 패턴

##### > End seg. 인양

##### 2) 거치 순서

End Seg.를 거치시 기존 구조물에 가해질 수 있는 충격을 방지하고 원활하게 인입하기 위해 가이드 프레임을 설치하였다. End Seg. 거치가 완료되면 리프팅 프레임을 해체하여 3,000톤 해상 크레인을 철수한다. 후속 작업을 위해 충격완화용 임시받침 및 가이드 프레임을 제거한다. 이어 Bracket 상부 임시받침과 코핑 상부의 임시 받침에 소형 Jack을 설치하여 미세조정을 실시하고 엔드세그먼트를 정위치에 세팅하였다.



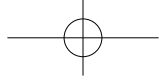
End Seg 가설 전경(1)

##### > End seg. 가설 작업 전경



가설 완료(영종도방향)





#### 4.10.6 교량받침 연결 시공

End Seg. 가설 및 정위치 거치가 완료되면, End Seg.와 교량받침을 일체화하는 작업이 수행된다. 이때, 가설을 위해 일시적으로 해체해 둔 교량받침 상부의 스테드 앵커를 다시 체결하며, 교량받침은 체인블럭 등을 이용해 Pre-setting 작업을 실시한다. Pre-setting 목표 값은 향후 엔드세그가 폐합되는 시기의 온도를 기준으로 산출한다. 온도 보정량은 사장교축 교각 3번 구간 온도 1℃당 5mm, 고가교축 교각10번 구간은 3.6mm 이다.



##### > 교량받침 Pre Setting

교량받침 조정이 끝나면, Block-out 부분의 무수축 몰탈을 타설한다. 이를 위해 상부면과 하부면에 거꾸집을 설치하고, 주입구와 유출구를 만들어 밀실하게 채운다. 타설방법은 수두차에 의해 채워지도록 높은 곳(상부슬래브)에서 주입하고 충분한 overflow를 실시하였다.



교량받침 무수축 몰탈 타설을 위한 Block out.부



시공 마무리면(후면)

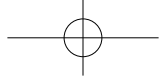
##### > 교량받침 무수축 몰탈 타설

#### 4.10.7 H-Prop 및 Leveling Beam 설치

End Seg.와 교량받침의 일체화 시공이 완료되면, 온도변화에 따른 Cantilever의 변위를 제어하기 위하여 거더 내부에 H-Prop 빔을 설치하고 영구 강봉과 Bottom Tendon을 일부 긴장하여 소정의 압축력을 도입해 두었다. 이때 도입된 압축력이 지속적으로 도입되는지 확인하기 위하여 H-Prop Beam에는 변형률 게이지를 부착하여 관리하였다. 세부적인 시공방법은 Key segment에서의 H-prop 빔 설치작업과 동일하나 도입 압축력은 다음과 같이 적용하였다.

- EBT-1, EBT-2 : 0.3fpu (150톤/개소)
- 영구 강봉 #1 ~ #3 : 0.7fpu (100톤/개소)

한편, End Seg.와 기존 캔틸레버 상부에는 온도변화에 따른 거더의 신축과 단차발생에 대응하기 위하여 Leveling Beam을 설치하였다. 단차 조절은 유압 Jack을 사용하여 레벨을 조정하였으며, 이때 임시받침은 하강하여 거동이 구속되지 않도록 조치하였다.



#### 4.10.8 CIP 거푸집 설치 및 타설

거더 내부에 H-Prop빔 설치 및 EBT-tendon과 영구강봉 긴장을 통한 1차 고정 작업이 완료되면, CIP 거푸집을 설치하고 콘크리트를 타설한다. 거푸집 설치 및 타설 방법은 Key Seg.의 CIP 콘크리트 타설 방법과 동일하다.



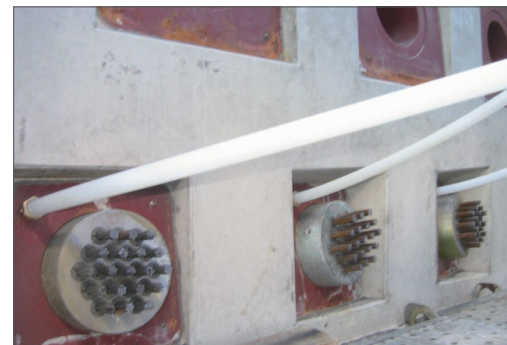
##### > End Seg 콘크리트 타설

#### 4.10.9 EBT-Tendon 긴장

압축강도가 31.5 MPa 이상 발현되면 Bottom tendon과 영구 강봉의 잔여부분을 모두 긴장하고 덕트 내부를 그라우팅 한다. EBT-Tendon의 긴장 작업은 BT-Tendon의 긴장 작업 방법과 동일하며, 영구 강봉의 긴장 작업은 주두부의 PT-Bar 긴장 작업과 동일하다.



EBT-tendon 2차 긴장



EBT-tendon 긴장 완료

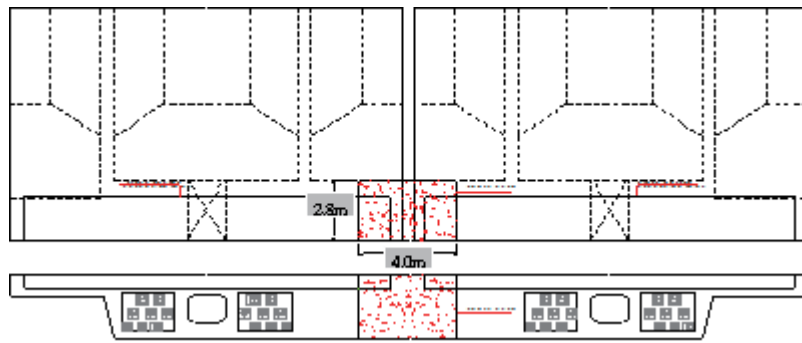
##### > EBT-tendon 2차긴장

#### 4.10.10 그라우팅

EBT-Tendon의 그라우팅 작업은 BT-Tendon의 그라우팅 작업 방법과 동일하다. 영구 강봉은 외부 노출 강봉으로 노출 부분은 HDPE Pipe(φ140mm)를 설치하고, 정착부는 무수축 몰탈로 마감하였다.

#### 4.10.11 Corss Beam 시공

상, 하행선 양측 2개소의 End Segment 폐합이 완료되면, 양측 End Seg.를 상호 연결하는 약 4m 길이의 Cross Beam 부분을 현장 콘크리트 타설로 시공한다. 이 구간에는 철근이 복잡하게 많이 배근되며, 작업 공간이 협소하여 1, 2차 분할 타설로 시공하였다.



> Cross Beam 위치도



거푸집 설치(내부)



1,2차 철근배근



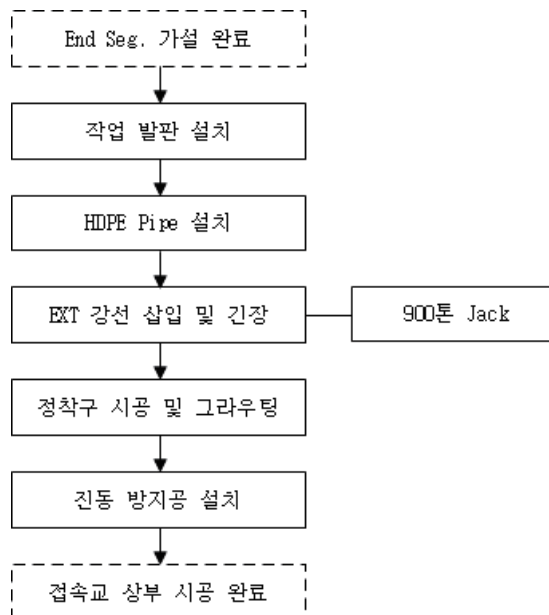
시공 완료

> End Seg Cross beam 시공

#### 4.11 External Tendon 시공

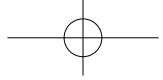
##### 4.11.1 시공 개요

전체 상부거더를 연속화하기 위해 거더 내부에 HDPE pipe를 설치한 후 외부긴장재를 시공하였다. 외부긴장재는 모든 스팬에 15.2mm 강연선을 37가닥씩 삽입하여 6열씩 긴장한다. 이 긴장재는 2차 PS Tendon으로서 모든 세그먼트의 가설 완료후 포장 직전 단계에 시공된다. 향후 필요시 상부거더의 내하력 증진 및 유지관리용으로 추가 사용할 수 있도록 4개의 스페어 텐던을 설치할 공간을 마련하였다.



> External Tendon 시공 Flow





#### 4.11.2 작업 발판(Working Platform) 설치

External Tendon 정착구는 End Seg. 외측 단부와 주두부 내부 중앙 상부에 설치되어 있다. 따라서 주두부 내부에 작업을 위한 작업 발판이 설치되었다. 작업 발판은 시공성, 안전성, 공기를 고려하여 시스템 동바리로 설치하였으며, EXT-Tendon 긴장을 위하여 900톤 유압 Jack 설치 작업 공간을 확보할 수 있도록 하였다.

#### 4.11.3 HDPE Pipe 설치

EXT-Tendon을 설치하기 위한 덕트로 HDPE 재질의 Pipe를 사용하였다. HDPE Pipe는 EXT-Tendon의 선형에 따라 설치되며, 관이음은 전기열로 접합부를 용융하여 직접 융착시키는 융착 접합(Butt Fusion) 방식을 적용하였다.



> HDPE Pipe 상호 접합 전경

HDPE Pipe와 접합에서 이질재 접합부가 발생한다. 이러한 부분에는 열수축 슬리브를 씌우고 토치(torch)를 작업을 통하여 밀실하게 밀봉하며, 그 위에 보강 CAP을 설치하여 그라우팅 작업시 그라우트 밀크가 유출되지 않도록 하였다.



> HDPE - Steel Pipe 접합 작업 전경

HDPE Pipe를 설치하면서 EXT-Tendon의 선형을 유지하기 위하여 임시강봉 블록의 홀을 이용해 지지대를 설치하고 상부에 로프를 매달아 둔다. HDPE Pipe의 선형 전개는 로프 길이 조절을 통하여 이루어진다. 또한 이 로프는 HDPE Pipe에 강선이 삽입되어도 그 하중을 견딜 수 있도록 하며, 강선 긴장 작업에서 초기 20% 가압시 해제하도록 한다. 이때 로프는 쉽게 풀거나 조일 수 있도록 적절한 매기 방법을 강구해 두어야 한다.

#### 4.11.4 EXT 강선 삽입 및 긴장

Span 7에서 Span 1 방향으로 긴장하되 영종도 방향과 송도 방향을 교대로 긴장한다.

HDPE Pipe 설치가 완료되면, 슬래브 상부에 강선삽입기를 설치하고, 미리 매입해 둔 강선 삽입용 경사 덕트를 통하여 강연선을 거더 내부로 삽입시킨다. 강연선 삽입작업은 거더 내부와 외부에 위치한 작업자 상호간에 육안소통이 불가능하므로 철저한 무전교신을 통해서 진행되어야 한다. 강연선 삽입이 완료되면 정착구에 Anchor head와 Wedge를 설치하고 유색 페인트 마킹을 실시해 둔다.





강연선 삽입(외부)



상단측 Jack 설치



Anchor head와 Wedge

#### > EXT-Tendon 삽입 및 긴장책 설치전경

#### 4.11.5 그라우팅

EXT-Tendon 긴장 작업이 완료되면, 정착구에 거푸집을 설치하고, 무수축 몰탈 타설로 마감 후, 그라우팅을 실시한다. 그라우팅 주입은 가장 낮은 곳에서부터 시작한다.



정착구 거푸집 설치



대블럭 정착구 무수축 마감



End seg. 정착구 무수축 마감

#### > External tendon 정착구 마감

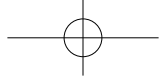
그라우팅 작업은 다음과 같이 실시한다.

- GROUT MIXER는 혼합조와 주입조를 분리하여 연속작업이 이루어질 수 있어야 한다.
- 일정한 물 시멘트비를 유지하도록 정확한 계량이 가능한 물탱크가 부착됨이 좋다.
- MIXER의 최대 주입 압력은 20bar를 낼 수 있다.
- 그라우트 Mixer기를 최소한 2대 준비하고, 장비 점검을 철저히 실시해 둔다. 이는 151m 정도로 매우 긴 External tendon에 대한 그라우팅 작업이므로 장비 고장으로 인해 중단되어서는 안되기 때문이다.
- 주입구와 유출구의 위치 선정시 나무망치 등으로 HDPE pipe를 두드려 보아 덕트 내부에 텐전이 물려 있지 않은 부분을 찾아서 Hole 형성을 하고 주입 및 유출용 클램프를 체결 해둔다.
- 그라우트 Mixer의 주입구에 위치한 유압게이지를 통해 주입 압력을 확인하면서 실시한다.
- 공기배출구를 통해 불순물을 충분히 제거하며 overflow하는 그라우트 밀크의 농도를 확인한 후 순서대로 모든 배출구를 막은 후 최종적으로 가압하여 완충시킨다.
- 그라우팅 작업은 1개소의 덕트를 완전히 충전 완료한 후 다음 덕트를 주입한다.



#### > EXT-Tendon 그라우팅





## 4.12 진동 방지공 설치

### 4.12.1 개요

외부긴장재(External Tendon)의 고유진동수와 교량의 고유진동수가 근접한 값을 갖는 경우, 주행차량에 의해 교량이 진동될 때 공진에 의해 외부강연선의 그라우팅 파괴 및 피로현상을 유발할 수 있으므로 진동방지공을 설치하였다. 진동방지공은 교량의 고유진동수와 외부긴장재의 진동수를 비교한 후, 두 진동수 차이가 5%이내인 모드가 발생하지 않도록 최소 5.7m에서 최대 12m 간격으로 설치하였다.

### 4.12.2 진동방지공 시공

#### 1) 클램프 제작

클램프는 External tendon과 진동방지용 H-Beam 가설재를 연결하는 부재이다. External Tendon의 HDPE Pipe와 클램프 사이의 간격에 filler로 채우게 되며, Filler의 역할은 클램프와 HDPE Pipe를 강결시켜 External Tendon에 발생하는 진동을 억제하는데 있다.



클램프 제작



H-Beam 가설재 연결



방청 도장 마무리

#### > 그진동방지공 클램프

진동 방지공 설치 작업은 그라우팅과 별도로 시공가능하며, 작업 순서는 다음과 같다.

- 주 H형강을 설치하여 구조물에 매입된 플레이트에 용접하며, EXT-Tendon 선형에 맞추어 보강재를 용접한다.
- 긴장 완료된 EXT-Tendon 선형에 맞추어 클램프와 보강재를 외팔보 H형강에 용접한다.
- 외팔보 H형강을 EXT-Tendon의 선형 기울기에 맞추어 주 H형강에 용접한다.
- 클램프 커버를 볼트 체결하여 고정한다.
- 진동방지공의 방청은 광명단(1종) 1회, 조합 페인트(검정색) 2회로 마감한다.



진동방지공 설치 전



진동방지공 설치 완료

#### > 진동 방지공 설치 전후 전경

